



CCUSA 中国环境科学学会碳捕集利用与封存专业委员会
Carbon Capture, Utilization and Storage Association

中国碳捕集利用与封存进展系列报告

2025

新进展、新阶段、新趋势

序 言

碳捕集利用与封存（CCUS）有着广阔的前景与潜力，是实现碳达峰碳中和目标的前瞻性重大技术。近年来，在相关政策的支持下，我们欣喜地看到 CCUS 在中国的工程实践取得了显著的进展，规模突破了百万吨级，对充分发挥 CCUS 的规模效益具有重要意义；项目领域进一步扩大，钢铁、水泥、化工等工业领域逐步开展实践，并启动开展了海洋封存领域的探索；呈现了一批 CCUS 与可再生能源融合、CO₂ 循环利用的技术经济新范式。

中国环境科学学会 CCUS 专委会编制了《中国碳捕集利用与封存进展系列报告 2025——新进展、新阶段、新趋势》，对 CCUS 新进展、新特点进行了凝练和分析，希望我国 CCUS 的后续发展能够得到政府、企业、研究机构和投资机构的更多支持。CCUS 专委会将充分发挥交流平台的积极作用，为科学推进 CCUS 发展和碳减排做出更大贡献。

金红光 中国科学院院士
中国环境科学学会 CCUS 专委会主任

目 录

01. 双碳目标下 CCUS 的作用和认识	1
02. 更多 CCUS 相关政策落地	2
03. CCUS 上下游产业快速发展	12
04. 结论与展望	31
附件 政策时间线	

1.双碳目标下 CCUS 的作用和认识

支持零碳能源系统

依托碳捕集利用与封存（CCUS）能够允许在化石能源利用过程中消除 CO₂ 对气候的不利影响，逐步推动以化石能源为主的能源结构向多元化、低碳化转变。CCUS 与煤电的组合实现了清洁发电，支撑中国构建有韧性、有弹性的能源系统，弥补非化石能源供应在稳定性方面的不足，为非化石能源技术的应用起到“压舱石”的作用。此外，CCUS 在零碳制氢、制备“碳中和”燃料等方面还有优势。

推动工业脱碳创新

CCUS 有助于工业部门绿色低碳和发展先进生产力。将 CCUS 融入工业生产流程，能够创新绿色生产工艺，拓展产业链、优化产品结构，降低产品碳足迹，强化市场竞争力。工业聚集区可依托 CCUS 探索钢化联产等新模式，推动建立跨行业协同发展机制，实现 CO₂ 的资源化利用，在挖掘新增长点的同时实现资源节约和环境保护。园区还可依托 CCUS 形成低碳价值链、建设零碳园区、发展循环经济。

区域低碳发展抓手

CCUS 关键基础设施（如 CO₂ 管网等）可支持区域层面源汇匹配，有助于培育新质生产力、构建区域涉碳产业集群，推进区域经济社会协调均衡发展。依托开放和共享的 CCUS 关键基础设施，可对二氧化碳集约化管理，支持周边上游碳排放（捕集）与下游碳封存、碳利用之间的需求对接，促进 CCUS 的规模化、集群化发展；另外，还可支持 CCUS 运营管理和商业模式创新，带动与 CCUS 相关的碳交易、碳评价、碳认证、碳核算、碳管理等涉碳新行业的发展。

带来重要碳移除量

直接空气捕集与封存（DACCS）、生物质能碳捕集与封存（BECCS）等碳移除技术可将空气中的 CO₂ 捕集和封存，带来重要的碳移除量，对保障碳中和目标有重要作用。根据不同研究机构预测，2060 年我国实现碳中和目标 BECCS 和 DACCS 预计将贡献每年 5 亿~8 亿吨的碳移除量^[1]。我国可以从远期目标出发，更细致地谋划碳移除产业发展。

¹ 姚悦,吕昊东,彭雪婷,等.全球碳管理发展态势与技术前沿进展[J].洁净煤技术,2024,30(10):32-40.

2.更多 CCUS 相关政策落地

我国碳达峰、碳中和顶层文件，如“十四五”和 2035 年规划、“1+N”政策体系，都明确纳入发展 CCUS 的有关任务。近年来，行业主管部门、地方政府结合顶层文件出台了更多政策，提供了更具体和有针对性的指导：

提升对 CCUS 项目示范的支持力度

国家发展改革委、科技部、工业和信息化部等部门在 2023 年 8 月出台《绿色低碳先进技术示范工程实施方案》，在“过程降碳”、“末端固碳”两部分纳入了 CCUS 项目发展任务，涉及“**全流程规模化 CCUS 示范项目**”、“**二氧化碳先进高效捕集示范项目**”、“**二氧化碳资源化利用及固碳示范项目**”等类型。该政策明确提出“强化项目保障”，涉及项目业主普遍关心的方面：

- ✪ **明确提出为项目提供财政资金。**如表述提到“统筹利用现有中央预算内投资渠道积极支持符合条件的示范项目，将符合条件的绿色低碳先进技术示范工程基础设施建设项目纳入地方政府专项债券支持范围”；
- ✪ **鼓励社会资本为项目提供激励。**如明确“积极发挥碳减排支持工具作用，引导金融机构为符合条件的项目提供资金支持，鼓励各类金融机构按照市场化法治化原则加大对示范工程融资支持力度”；
- ✪ **综合考虑项目发展所需的资源环境要素。**如提出“加强用地用海要素保障，鼓励地方探索弹性年期出让、长期租赁、先租后让、租让结合等灵活的土地供应方式保障用地需求”。

另外，国家发展改革委、国家能源局印发的《煤电低碳化改造建设行动方案（2024—2027 年）》还提出了“**利用超长期特别国债等资金渠道对符合条件的煤电低碳化改造建设项目予以支持**”的表述。

依托 CCUS 支撑工业、能源转型升级

国家发展改革委员会、科技部、工业和信息化部、自然资源部等制定了一系列政策，旨在加快推动煤基产业、炼油行业、制造业低碳转型升级。CCUS 为相关行业的绿色、低碳发展提供重要的依托，并能够与生产流程有机融合：

- ✿ **CCUS 支撑煤基产业低碳化发展。**2023 年 6 月，国家发展改革委、国家能源局印发了《煤电低碳化改造建设行动方案（2024—2027 年）》，明确可采用 CCUS 技术支撑煤电低碳化改造，相关项目的建设和改造需具备应用场景和地质条件；另外，要统筹科研院所、行业协会、骨干企业等创新资源，聚焦技术性能提升、产业集成耦合、补齐技术短板。
- ✿ **CCUS 促进炼油行业绿色创新。**国家发展改革委、国家能源局、工业和信息化部等于 2023 年 10 月印发的《国家发展改革委等部门关于促进炼油行业绿色创新高质量发展的指导意见》提出“到 2030 年绿氢炼化、二氧化碳捕集利用与封存（CCUS）等技术完成工业化、规模化示范验证，建设一批可借鉴、可复制的绿色低碳标杆企业，支撑 2030 年前全国碳排放达峰”。
- ✿ **CCUS 支撑传统制造业绿色化和转型升级。**工业和信息化部、国家发展改革委等印发了多项政策，如《工业和信息化部等八部门关于加快传统制造业转型升级的指导意见》《工业和信息化部等七部门关于加快推动制造业绿色化发展的指导意见》等文件，明确 CCUS 在支持制造业绿色化、转型升级、高质量发展等方面的作用。另外，还将 CCUS 作为需前瞻布局的绿色低碳领域未来产业。
- ✿ **CCUS 支撑我国新型电力系统的建设。**2024 年 7 月，国家发展改革委、国家能源局、国家数据局印发《加快构建新型电力系统行动方案（2024—2027 年）》，提出开展新一代煤电升级行动、电力系统调节能力优化行动，保障电力安全稳定供应，囊括了采用 CCUS 的低碳煤电技术路线。

支持 CCUS 相关行业耦合与协同降碳

CCUS 二氧化碳资源化利用技术在诸多行业有广阔的应用前景。通过跨行业部署 CCUS 技术，集中统筹碳源，耦合生产工艺，搭建协作关系，丰富应用场景，扩大应用规模，可实现跨行业协同降碳和取得“1+1>2”的效果。

- ✿ **推动煤化工与 CCUS、新能源相关产业的耦合。**《国家发展改革委等部门关于推动现代煤化工产业健康发展的通知》《国家发展改革委等部门关于加强煤炭清洁高效利用的意见》等文件提出了“在资源禀赋和产业基础较好的地区，推动现代煤化工与可再生能源、绿氢、二氧化碳捕集利用与封存 (CCUS) 等耦合创新发展”；“打造低碳循环的煤炭高效转化产业链，促进煤化工产业高端化、多元化、低碳化发展”等表述。
- ✿ **鼓励对“钢化联产”等行业耦合新模式的探索。**《福建省工业领域碳达峰实施方案》在推动本省钢铁行业碳达峰重大行动上，鼓励开展钢化联产，探索开展氢冶金、二氧化碳捕集利用一体化等试点项目。
- ✿ **支持在重点产业基地开展 CCUS 行业耦合实践。**《国家发展改革委等部门关于支持内蒙古绿色低碳高质量发展若干政策措施的通知》提出“推动现代煤化工产业高端化、多元化、低碳化发展，高质量建设鄂尔多斯现代煤化工产业示范区和煤制油气战略基地，探索现代煤化工与绿氢、碳捕集利用与封存耦合发展模式，积极推进煤基特种燃料、煤基生物可降解材料等技术研发和工业化应用”。

CCUS 支撑区域层面产业创新发展

我国区域层面的产业政策将 CCUS 作为区域实现双碳目标、发展未来产业、推动传统产业升级、实现高质量发展的重要手段。

- ✿ **CCUS 支撑区域实现双碳目标。**江苏、山东、山西、陕西等发布的碳达峰实施方案，强调了 CCUS 在支撑双碳目标方面的突出作用，明确了“加强 CCUS 等前沿技术研发攻关”、“提前布局 CCUS 装备研发与制造”、“开展 CCUS 试点示范工程”、“加强 CCUS 等领域科学研究”等任务。

- ✿ **CCUS 作为区域的未来产业。**北京、江苏、广东、贵州、安徽出台政策将 CCUS 作为重要的未来产业来推动。例如，2023 年 9 月，北京市人民政府办公厅《北京市促进未来产业创新发展实施方案》提出要加快 CCUS 关键技术、材料的研发，以及推动 CCUS 在京津冀工业领域的示范；2024 年 4 月，广东省发展和改革委员会、广东省科学技术厅、广东省工业和信息化厅印发的《广东省培育发展未来绿色低碳产业集群行动计划》，有助于合理布局、稳步推动广东 CCUS 产业集群的发展。
- ✿ **CCUS 带动区域传统产业转型。**山东、湖北、山西、广东等印发的政策明确通过发展 CCUS 带动传统产业转型升级。例如，2024 年 4 月印发的《山东省人民政府关于印发“十大创新”“十强产业”“十大扩需求”行动计划（2024—2025 年）的通知》提出“加快工业互联网、碳捕集运输封存利用等关键技术推广应用，推动传统产业数字化、智能化、绿色化转型”。

园区层面发展 CCUS 促进深度降碳

目前，中央、地方有关政策都在大力推动零碳园区建设，CCUS 可成为零碳园区发展的重要技术选项。例如，在工业园区内部署 CCUS 相关基础设施（如二氧化碳运输管道），将二氧化碳排放统筹回收开展资源化利用，搭建基于二氧化碳的绿色化工等产业链，促进循环经济发展。

- ✿ **中央层面。**2022 年 7 月，工业和信息化部、国家发展改革委、生态环境部印发了《工业领域碳达峰实施方案》，提出“建设一批绿色工厂和绿色工业园区，研发、示范、推广一批减排效果显著的低碳零碳负碳技术工艺装备产品，筑牢工业领域碳达峰基础”。2024 年 12 月，中央经济工作会议提出“建立一批零碳园区”的表述，这也是首次明确提到零碳园区的概念。
- ✿ **地方层面。**2024-2025 年期间，安徽、四川等将 CCUS 作为园区零碳发展的重要技术手段。例如，《四川省零碳工业园区试点建设工作方案》提出“强化园区内上下游耦合发展，鼓励龙头企业联合行业企业开展协同降碳，构建首尾相连、互为供需、互联互通的产业链，实现产业循环链接。加快推广应

用低成本、高效率二氧化碳捕集利用与封存技术，建设二氧化碳规模化回收循环利用等示范工程”。

推动 CCUS 相关标准、方法学研究

我国正加快推进 CCUS 相关标准建设，更好支撑 CCUS 相关产业健康发展。2023 年 2 月，国家标准委、国家发展改革委、工业和信息化部等部门印发的《碳达峰碳中和标准体系建设指南》，围绕 CCUS 领域提出如下任务：

- 重点制修订碳捕集利用与封存（CCUS）相关术语、评估等基础标准，燃烧碳排放捕集标准，完善二氧化碳管道输送等标准。
- 推动制定二氧化碳驱油（EOR）、化工利用、生物利用、燃料利用等碳利用标准，以及陆上封存、海上封存等碳封存标准。
- 重点制修订直接空气碳捕集和储存（DACS）应用条件、技术要求、实施效果评估等标准。

近年来，我国加快了 CCUS 相关标准的研制。根据全国标准信息公共服务平台，就 2023-2025 年国家标准的相关情况进行举例说明：

- 2023-2025 年期间发布的国家标准，涉及碳运输方面。**即《GB/T 42797-2023 二氧化碳捕集、输送和地质封存 管道输送系统》；
- 即将实施的国家标准有 2 项。**即《GB/T 45121-2024 火力发电厂烟气二氧化碳捕集系统能耗测定技术规范》《GB/T 45126-2025 钢渣碳酸化固定二氧化碳含量测定方法》；
- 处于编制阶段的国家标准相对较多。**

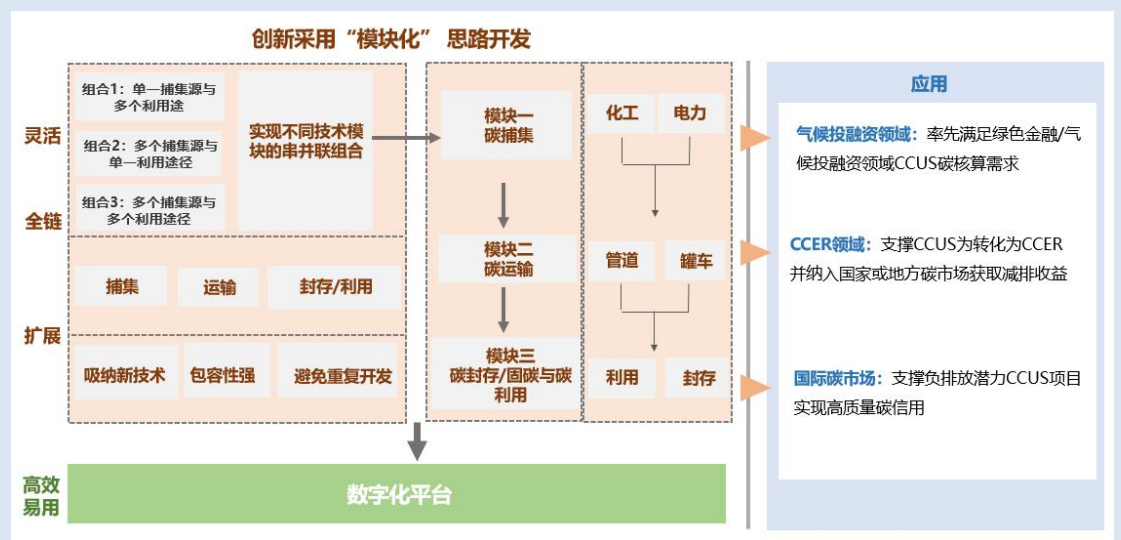
标准号	标准名称	相关进展
20232496-T-424	二氧化碳捕集 燃烧后二氧化碳捕集系统通用要求	正在征求意见
20232497-T-469	二氧化碳捕集 第 1 部分:电厂燃烧后 CO ₂ 捕集性能评估方法	正在征求意见
20232492-T-424	二氧化碳捕集 第 2 部分:电厂燃烧后 CO ₂ 捕集确保和维持稳定性能的评估程序	正在征求意见
20232493-T-424	烟气二氧化碳捕集压缩装置运行与管理规范	正在征求意见
20232498-T-424	火电厂碳封存 CO ₂ 检测方法	正在征求意见
20232499-T-424	进入二氧化碳管道的介质质量要求	正在征求意见
20232500-T-469	二氧化碳捕集、运输和地质封存 — 二氧化碳用于提高原油采收率	正在征求意见
20232510-T-469	二氧化碳捕集、运输和地质封存 — 词汇 — 共性术语	正在征求意见
20232501-T-469	二氧化碳捕集、运输和地质封存 — 地质封存	正在征求意见
20231944-T-334	咸水层二氧化碳地质封存潜力分类	正在征求意见
20232494-T-424	海上 CO ₂ 咸水层场地封存量评价	正在征求意见
20232495-T-424	海上 CO ₂ 咸水层场地适宜性评价方法	正在征求意见
20250179-T-469	油气藏二氧化碳地质利用与封存潜力评价方法	正在起草
20250126-T-469	油气区二氧化碳地质封存筛选及潜力评价技术规范	正在起草
20250120-T-469	石油天然气工业 二氧化碳地质体埋存量评价实验方法	正在起草
20250125-T-469	二氧化碳驱油与封存腐蚀防护技术规范	正在起草
20250422-T-606	二氧化碳制甲醇技术导则	正在起草
20250521-T-606	二氧化碳制甲醇安全技术规程	正在起草

我国也在推动 CCUS 方法学开发，方法学有望在以下方面发挥作用：1) 作为项目业主系统开展 CCUS 项目管理的重要工具，支持构建“监测—报告—验证”（MRV）机制，实现对运营过程的高效管理，提升项目的整体质量；2) 将 CCUS 项目减排量转化为公认的碳信用，为后续纳入碳市场奠定基础；3) 披露 CCUS 项目减排量结果，为政府部门开展监管和产业规划、金融机构开展投融资等提供依据。

- 2023 年 3 月，生态环境部办公厅印发《关于公开征集温室气体自愿减排项目方法学建议的函》，向全社会公开征集温室气体自愿减排项目方法学建议。
- 2024 年 10 月，国家发展改革委、生态环境部、国家统计局印发的《完善碳排放统计核算体系工作方案》，提出“加强碳捕集利用与封存核算方法学研究，明确碳捕集、运输、利用、封存的核算范围及方法”。

案例： 模块化减排量核算方法学

- 模块化 CCUS 项目减排量核算方法学。**该方法学结合碳捕集、碳运输、碳封存、碳利用各环节，按照行业拆分模块。针对某个复杂流程的 CCUS 项目，项目业主等可结合自身实际情况，将多个子模块进行组合串联，形成项目层级的 CCUS 方法学，满足跨行业的合作需求。方法学开发工作由中国环境科学学会 CCUS 专委会联合国内 40 余家参编单位共同开展。



绿色金融领域开展了创新和实践

我国绿色保险领域出台了相关政策支持 CCUS 发展。2024 年 4 月，国家金融监督管理总局出台了《国家金融监督管理总局关于推动绿色保险高质量发展的指导意见》，提出要“加强重点领域绿色保险保障”，“推进碳汇能力巩固提升，在依法合规、风险可控前提下，探索开展碳交易、碳减排、碳汇等碳保险业务，并针对碳捕集与封存等前沿性固碳技术提供保险服务”。

CCUS 相关的绿色保险新产品涌现。例如，中国人保财险、中意财险、中国太保产险等多家机构开发了针对 CCUS 项目的绿色保险产品，为 CCUS 项目提供保险保障。

案例： 中国人保签发全国首单“碳捕集保险”

📌 2022 年 11 月，中国人保签发全国首单“碳捕集保险”，为中国华电集团下属某发电企业提供碳资产损失保障。该保险针对 CCS 或 CCUS 项目因自然灾害、意外事故等致使所使用设备或相关财产遭受损坏，导致 CCS 或 CCUS 项目所捕获的二氧化碳排放量未达到项目设计运营目标造成的碳资产损失这种情形提供保障，化解企业应用 CCS 或 CCUS 技术所面临的风险，助力企业实现降碳减排目标^[2]。

2021 年 11 月，中国人民银行宣布创设推出碳减排支持工具，以期撬动更多社会资金促进碳减排，支持碳捕集利用与封存的发展。**中国人民银行通过碳减排支持工具向金融机构提供低成本资金，引导金融机构在自主决策、自担风险的前提下，向碳减排重点领域内的各类企业一视同仁提供碳减排贷款**，贷款利率与同期限档次贷款市场报价利率（LPR）大致持平。碳减排支持工具发放对象暂定为全国性金融机构，人民银行通过“先贷后借”的直达机制，对金融机构向碳减排重点领域内相关企业发放的符合条件的碳减排贷款，按贷款本金的 60%提供资金支持，利率为 1.75%。

² 中国人民保险. 中国人保签发全国首单“碳捕集保险” --新华网[EB/OL]. (2022-11-15) [2025-02-14]. https://www.picc.com/xwzx/mtjj/202211/t20221115_51418.html

案例： 兴业银行利用碳减排支持工具的案例

🌟 2022 年 6 月，兴业银行包头分行成功获批央行碳减排支持工具资金，为内蒙古包融环保新材料有限公司发放了项目前期贷款 7000 万元。所支持的“碳化法钢铁渣综合利用 10 万吨示范产业化项目”为全球首套固废和二氧化碳矿化示范产业项目，入选国家重大项目库、国家 CCUS 低碳发展项目库^[3]。

2021 年 4 月，中国人民银行、国家发展和改革委员会、证监会联合发布《**绿色债券支持项目目录（2021 年版）**》，专门用于界定和遴选符合各类绿色债券支持和适用范围的绿色项目和绿色领域的专业性目录清单，是各类型绿色债券的发行主体募集资金、投资主体进行绿色债券资产配置、管理部门加强绿色债券管理、出台绿色债券激励措施等的重要依据，也是发挥好绿色债券支持环境改善、应对气候变化、提升资源节约利用效率、推动经济社会可持续发展和产业绿色转型升级等工作的重要技术支撑。**目录增加了二氧化碳捕集、利用与封存。**

案例： 平安银行、中国建设银行发放绿色贷款

🌟 2022 年 10 月，中国建设银行山东省分行为国内投运的、规模最大的百万吨级齐鲁石化胜利油田 CCUS 项目提供了绿色贷款，服务实体经济绿色低碳转型升级^[4]。2022 年 11 月，平安银行银行呼和浩特分行向包钢集团发放首笔绿色低碳前融贷款，用于项目前期设备采购，实现了全国钢铁行业碳减排技术领域信贷投放零的突破^[5]。

社会资本加大了对 CCUS 的支持力度。例如，腾讯集团联合产业和投资合作伙伴发起了“碳寻计划”，聚焦创新型 CCUS 技术公开征集项目方案，打造有示范性作用的 CCUS 落地项目，孵化有正向经济性潜能的初创企业，助力 CCUS 基础能力建设，对核心主题 CCUS 项目进行全部或部分资助。

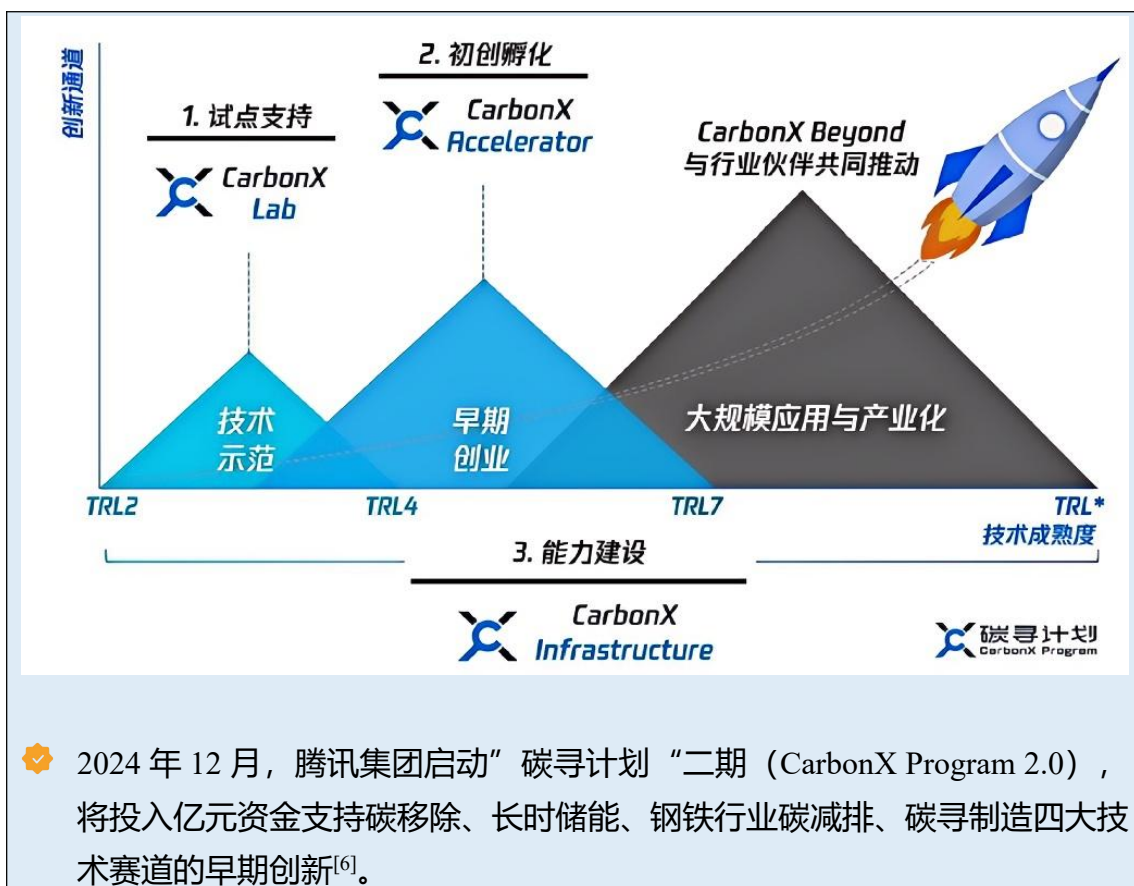
案例： 腾讯集团“碳寻计划”

🌟 2022 年 3 月，腾讯集团发布“碳寻计划”，承诺在三年内投入 2800 万美元支持新技术和能力建设。一期重点放在 CCUS 领域，从 300 多个申请团队中最终确认了 13 个项目予以资助，总金额约 1400 万美元。

³ 中国金融新闻网。依托央行政策工具 兴业银行落地首单 CCUS 领域绿色金融项目[EB/OL]. (2022-06-01) [2025-02-13]. https://www.financialnews.com.cn/qy/dfjr/202206/t20220601_247919.html

⁴ 生态中国网。建行山东分行投放国内首个百万吨级 CCUS 商业化运营项目绿贷[EB/OL]. (2022-10-18) [2025-02-13]. https://www.eco.gov.cn/news_info/59244.html

⁵ 江苏省钢铁行业协会。全国钢铁行业首笔绿色低碳前融贷款创新业务落地包钢！[EB/OL]. (2022-11-28) [2025-02-13]. http://www.jsjgt.org.cn/index.php/Home/Index/art/a_id/14140.html



案例：安赛乐米塔尔“XCarb 创新基金”

- 全球钢铁巨头安赛乐米塔尔在 2021 年成立 XCarb®创新基金，投资并助力低碳前沿技术的商业化发展。2025 年 3 月，安赛乐宣布在中国启动 XCarb®加速器，面向中国本土初创企业，旨在挖掘具有商业化潜力的突破性低碳技术，助力钢铁产业的绿色化进程。
- 聚焦核心领域包括：1) 突破性低碳钢铁生产技术；2) 碳捕集利用及封存技术；3) 储能技术（工业级长时储能）；4) 废弃物资源化利用技术（包括钢铁行业的生物质转化路径、钢铁副产品高值化利用及余热回收）；5) 优化钢铁生产的人工智能技术；6) 提升废钢质量技术；7) 突破性制氢技术^[7]。

⁶ 腾讯. 腾讯启动碳寻计划二期 全球范围征集气候创新技术[EB/OL]. (2024-12-03) [2025-02-13]. <https://www.tencent.com/zh-cn/articles/2201985.html>

⁷ ArcelorMittal. ArcelorMittal's XCarb® Innovation Fund launches its third Accelerator Programme in China[EB/OL]. (2025-03-12) [2025-03-18]. <https://corporate.arcelormittal.com/media/news-articles/arcelormittal-s-xcarb-innovation-fund-launches-its-third-accelerator-programme-in-china>

3.CCUS 上下游产业快速发展

在政策和市场的共同激励下，我国 CCUS 上下游产业正在快速发展。根据相关网站和科研机构发布的数据，**项目数量上**，从 2021 年至 2024 年 7 月，我国规划运行的 CCUS 工程由约 40 个发展至约 120 个，数量成倍增长^[8,9]。**捕集能力和注入能力都在快速提升，并取得较大进展。**



图 1 我国 CCUS 发展增长情况 (结合网上公开数据)

年份	项目数量 (个)	捕集能力 (万吨/年)	注入能力 (万吨/年)
2021	40	300	120
2022	100	400	200 ^[10]
2023	107	470 ^[11]	>200 ^[12]
2024	120	600 ^[13]	/

本章结合公开数据和信息，选取 2023 年以来的典型项目案例，体现相关领域的新进展：

⁸ 江苏化工网. 年增速超过 50%! CCUS 竞争力提升做好这几点[EB/OL]. (2025-01-21) [2025-02-24] <http://www.jschemnet.cn/index.php/news/info/24435.html>

⁹ 蔡博峰, 李琦, 张贤等. 中国二氧化碳捕集利用与封存(CCUS)年度报告(2021)——中国 CCUS 路径研究[R]. 生态环境部环境规划院, 中国科学院武汉岩土力学研究所, 中国 21 世纪议程管理中心. 2021.

¹⁰ 张贤, 杨晓亮, 鲁玺等. 中国二氧化碳捕集利用与封存(CCUS)年度报告(2023) [R]. 中国 21 世纪议程管理中心, 全球碳捕集与封存研究院, 清华大学. 2023.

¹¹ 煤化工产业网. 齐聚淄博 共“碳”未来 | 2024 (第三届) 二氧化碳捕集封存与资源化利用技术交流会成功召开[EB/OL]. (2024-04-28) [2025-02-24] <https://zixun.ibien.com/news/d1462522.html>

¹² 中国能源新闻网. 观察 | 我国二氧化碳地质封存发展形势向好[EB/OL]. (2024-02-29) [2025-02-24] https://cpnn.com.cn/news/zngc/202402/t20240229_1679594_wap.html

¹³ 北京理工大学能源与环境政策研究中心. 碳捕集技术发展前沿与趋势预测[R]. 2025. <https://ceep.bit.edu.cn/docs/2025-01/dfa4bc6503df4801989924f0a1a6cc3a.pdf>

碳捕集：

我国碳捕集技术发展主要体现三方面特点：1）加快融入工艺流程，支持相关行业的绿色生产；2）部分较成熟的碳捕集技术在能效提升、规模化应用等方面进步明显；3）在新一代碳捕集技术、模块化碳捕集技术、碳移除技术（如直接空气捕集）等的研发和示范取得突破。

01.融入生产工艺和流程

煤化工行业：现代煤化工和大型油气田开采间的绿色减碳合作

- 2023 年 5 月，宁东能源化工基地与中国石油长庆油田分公司、国家能源集团宁夏煤业有限责任公司签订《宁夏 300 万吨/年 CCUS 示范项目战略合作协议》，拟建设宁夏 300 万吨/年 CCUS 示范项目，打造我国最大的碳捕集利用与封存全产业链示范基地，推动现代煤化工和大型油气田开采间的绿色减碳合作^[14]。2024 年 8 月，该项目一期工程顺利中交验收，并签订了二期合作方案^[15]。



宁夏 CCUS 示范项目

水泥行业：全球规模最大的全氧燃烧耦合碳捕集示范项目

- 2024 年 1 月，青州中联水泥 20 万吨二氧化碳全氧燃烧富集提纯示范项目顺利点火，全面进入试生产运行阶段。该项目是全球水泥行业规模最大的全氧燃烧耦合碳捕集示范项目。
- 该项目于 2023 年 6 月开工，投资 2.56 亿元，由天津水泥工业设计研究院、上海凯盛节能工程技术有限公司联合建设。依托青州中联 2#生产线，建设一条年产 20 万吨二氧化碳



青州水泥 CCUS 项目

¹⁴ 宁夏回族自治区人民政府. 300 万吨/年 CCUS 示范项目落户宁东基地张雨浦见证签约[EB/OL]. (2023-05-18) [2025-03-31]. https://www.nx.gov.cn/zwxx_11337/nxyw/202305/t20230518_4113216.html

¹⁵ 国家能源集团. 宁夏 300 万吨/年 CCUS 示范项目二期合作方案签订[EB/OL]. (2025-01-14) [2025-03-31]. <https://www.chnenergy.com.cn/gjnyjtw/chnjcxw/202501/08787b996d354b04a19a886b26fe44e1.shtml>

水泥窑全氧燃烧耦合低能耗碳捕集工程应用示范线，主体工程包括制氧系统、二氧化碳自富集系统、二氧化碳捕集提纯系统等。采用“全氧燃烧+变压吸附浓缩+变温变压吸附净化+低温精馏提纯”技术，可大幅提高烟气中二氧化碳的浓度，捕集综合能耗降至 1.6GJ/t.CO₂ 以下^[16、17、18]。

钢铁行业：全球首个“氢冶金”加“碳捕集”示范工程

2023 年 5 月，河钢集团张家口张宣科技公司建成投运 120 万吨氢冶金示范工程，是全球首例富氢气体（焦炉煤气）零重整竖炉直接还原氢冶金示范工程。

该项目采用氢冶金技术，省去高炉等流程，所产出的 DRI（直接还原铁）产品直接转入电炉，工艺流程环节大幅减少，复杂度有效降低，碳排放量大幅下降。项目嵌入“二氧化碳捕集+二氧化碳精制”技术，生产 1 吨直接还原铁可捕集二氧化碳约 125 千克，每年可回收二氧化碳约 6 万吨^[19]。



河钢集团 CCUS 项目

电力行业：国内煤电吸附碳捕集项目示范

2024 年 8 月，由中国华能集团华能湖南分公司岳阳电厂投资开发、华能清能院研发承建的千吨级低温吸附法燃煤烟气碳捕集中试装置投运^[20]。采用自主研发设计的移动床式二氧化碳吸附工艺和蒸汽加热耦合真空抽吸再生工艺，并配置了分段式低温吸附设备、吸附剂热量回收设备等一系列新型吸附捕集设备，实现烟气污染物和二氧化碳的高效协同脱除。试运期间，二氧化碳捕集率达 95%，再生热耗 0.96 吉焦/吨二氧化碳，比常规碳捕集技术降低 50%以上。



国能浙江碳捕集项目

¹⁶ 中国建筑材料联合会. 中国水泥行业 CCUS 发展现状与展望[R]. 2024.

¹⁷ 天津市对外经济合作协会. 天津水泥院：全球碳捕集与封存研究院（Global CCS Institute）专题报道装备集团全氧燃烧示范工程[EB/OL]. (2024-07-26) [2025-02-24]. <http://tjtfca.com/News/202407/2024073016563519.htm>

¹⁸ 中国建材报. 开工！国内水泥行业规模最大的二氧化碳捕集项目[EB/OL]. (2023-06-30) [2025-02-24]. <http://www.cementren.com/2023/0630/66316.html>

¹⁹ 河北省生态环境厅. 河北省减污降碳协同创新典型案例②：氢冶金典型案例[EB/OL]. (2025-01-09) [2025-03-07].

<https://hbepl.hebei.gov.cn/hbhjt/ztl/zhuannlan/sthjfb/101732791184854.html>

²⁰ 中国能源新闻网. 华能自主研发的千吨级 COAP+装置成功投运[EB/OL]. (2024-09-09) [2025-03-07].

https://cpnn.com.cn/news/ydylnyhz/202409/t20240909_1734721.html

- 2024 年 12 月，国家能源集团浙江公司宁海电厂万吨级吸附法碳捕集示范装置一次投料试运成功。项目依托该厂 1055 兆瓦超超临界机组建设，采用了“低压吸附—真空再生”低能耗吸附碳捕集工艺和高效二氧化碳吸附材料。产出浓度 95% 以上的合格二氧化碳产品气^[21]。

电力行业：大规模、低能耗碳捕集项目

- 2023 年 6 月，国家能源集团泰州电厂 50 万吨/年 CCUS 项目正式投入运行，是亚洲最大的燃煤电厂燃烧后碳捕集工程，也是国内首个大规模火电厂二氧化碳捕集驱油封存全产业链示范工程^[22]。项目指标达行业领先水平，根据第三方测试结果，捕集的二氧化碳浓度 99.94%，再生能耗 2.35GJ/tCO₂，捕集电耗 51.5kWh/tCO₂。



泰州电厂 CCUS 项目

- 我国还在建设更大规模的电力行业 CCUS 项目。例如，位于甘肃的华能陇东能源基地正宁电厂预计捕集二氧化碳规模 150 万吨/年^[23]。

02. 先进技术研发与性能升级

化学链燃烧：全球最大化学链燃烧碳捕集示范装置建成

- 2023 年 4 月，东方电气集团东方锅炉股份有限公司德阳基地建成全球最大的化学链燃烧示范装置，热功率达 4 兆瓦。该项目的建成有助于推动化学链燃烧技术从实验室走向工业应用。
- 项目所采用化学链燃烧技术，是一种新型无火焰燃烧的、低成本、低能耗的碳捕集技术。化学链燃烧装置能够生成高浓度的二氧化碳，无需分离装置，运营成本不到传统碳捕集技术的三分之一^[24、25]。



东方锅炉 CCUS 项目

²¹ 中国能源新闻网. 国内首个煤电万吨级吸附碳捕集项目成功产气[EB/OL]. (2025-01-03) [2025-03-10]. https://www.cpn.cn/qiye/jishu/202501/t20250103_1764299.html

²² 煤炭网. 亚洲最大！国家能源集团年产 50 万吨 CCUS 项目投产[EB/OL]. (2023-06-02) [2025-02-24]. <https://news.qq.com/rain/a/20230602A08JZR00>

²³ 陇东报. 华能集团计划在我市实施百万吨级二氧化碳捕集利用示范项目[EB/OL]. (2021-09-21) [2025-03-14]. https://paper.qingyangwang.com.cn/pc/content/202109/21/content_9435.html

²⁴ 国务院国有资产监督管理委员会. 全球最大化学链燃烧示范装置建成[EB/OL]. (2023-04-06) [2025-02-24].

膜法碳捕集：能耗低、设备简单的新一代捕集技术

- ✦ 膜法分离技术具有分离性能高、运行稳定和膜寿命较长等特点，可用于分离各种含有 CO_2 的气体体系。与其他气体分离技术相比，膜分离技术分离能耗低、无溶剂挥发；设备简单、操作方便、运行可靠性高^[26]。
- ✦ 2021 年 12 月，中石化南京化工研究院有限公司厂区建设了膜法碳捕集示范装置，烟道气日处理量 50000 标准立方米，年捕集 CO_2 超 3000 吨。
- ✦ 2023 年 7 月，胜利油田河口采油厂渤南集气站投运了首套膜法脱碳装备^[27]。该技术具有日处理 5 万立方米页岩气伴生气能力。处理前原料天然气二氧化碳含量为 24.83%，处理后天然气中二氧化碳含量降至到 3.43%，捕集二氧化碳纯度 98.36%，可用于油田驱油增产。
- ✦ 2024 年 12 月，中海油南海东部油田建成投用了首个海上膜法伴生气回收脱碳与二氧化碳封存项目示范工程（惠州 32-5 平台）。项目每年可回收伴生气超 1800 万立方米^[28]。



胜利油田膜法脱碳装备

03.直接空气捕集技术

全球首套空气源碳捕集矿化一体化示范项目

- ✦ 2024 年 10 月，原初科技（北京）有限公司在中山火炬开发区举行全球首套空气源碳捕集矿化一体化示范项目开车仪式。
- ✦ 项目可直接捕集空气中的存量二氧化碳，经过设备转化矿化为碳酸钙，而碳酸钙又可作为工业原料。具有每年 1000 吨的碳移除能力^[29]。



直接空气捕集装置

<http://www.sasac.gov.cn/n2588025/n2588124/c27618599/content.html>

²⁵ 四川在线·C 视频 | 全球最大化学链燃烧示范装置全面调试 预计下半年开展试验研究[EB/OL]. (2023-04-14) [2025-02-24].

<https://sichuan.scol.com.cn/ggxw/202304/58862055.html>

²⁶ 何亮. 新技术施展“膜”力 发电源头高效捕碳[EB/OL]. (2021-04-28) [2025-03-11].

https://digitalpaper.stdaily.com/http_www.kjrb.com/kjrb/html/2021-04/28/content_466883.htm

²⁷ 全国首套 CCUS 膜法脱碳装备投运[EB/OL]. (2023-07-05) [2025-03-11].

<https://sjb.qlwb.com.cn/qlwb/content/20230705/ArticleIM04003FM.htm>

²⁸ 中国能源新闻网. 我国首个！海上“膜法”碳封存来了[EB/OL]. (2024-12-23) [2025-03-11].

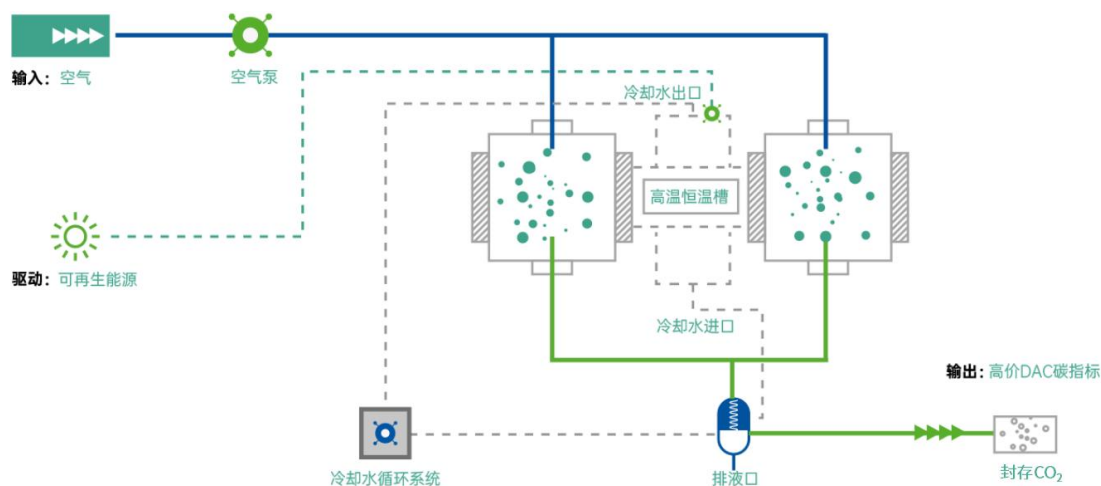
https://www.cpn.com.cn/news/hy/202412/t20241220_1761289_wap.html

²⁹ 中山网. 中山企业研制！全球首套空气源碳捕集矿化一体化示范项目开车[EB/OL]. (2024-10-24) [2025-03-11].

<https://www.zsnews.cn/news/index/view/cateid/35/id/739304.html>

推动吨级中试基地、千吨级商业化项目发展

- 2023 年 10 月，黑鲸能源发展有限公司的“吨级”中试基地在湖州落地，实现全工艺流程的贯通。
- 另外，黑鲸能源还在筹备亚太区域千吨级 DAC 商业化项目。



黑鲸能源：DAC 技术工作原理^[30]

“碳捕块 CarbonBox” 直接空气捕集模块

- 中国能建上海成套公司联合上海交通大学共同研发了“碳捕块 CarbonBox”装置。其由捕集单元和处理单元组成，每个单元尺寸均为集装箱大小，可在现场对模块进行直接吊装，无需二次组装。其模块化设计的特点，可大规模集中式、分布式及移动式布置，实现随时、随地、无区域限制的碳捕集^[31]。



“碳捕块”装置

³⁰ 黑鲸能源. 解决方案—新材料新工艺的低能耗直接空气碳捕集 (DAC) 负碳化技术及应用[EB/OL]. [2025-03-11]. <https://www.orcaen.cn/solution.html>

³¹ 生态中国网. 中国首台、亚洲最大工业级二氧化碳直接空气捕集装置中试成功[EB/OL]. (2024-07-23) [2025-03-11]. https://www.eco.gov.cn/news_info/71088.html

04.适用移动源排放的碳捕集装置

配套大型集装箱船的船用碳捕集系统（OCCS）

- 上海齐耀环保科技有限公司研发的船用碳捕集系统，利用有机胺溶液吸收船舶尾气中的 CO_2 ，捕集效率达 90% 以上， CO_2 纯度达 99% 以上^[32]。



船用碳捕集系统

全球首艘具有碳捕集功能的 FPSO 在上海交付

- 2025 年 3 月，全球首艘安装海上碳捕集装置的海上浮式生产储油卸油船（FPSO）在上海交付。由上海中远海运重工有限公司承接该项目，旨在通过捕集船上燃气轮机燃烧后烟气的二氧化碳，大幅减少 FPSO 温室气体排放^[33]。



加装碳捕集的 FPSO

碳运输：

我国 CCUS 项目正在由小规模、先导式向规模化、集群化示范转型，配套的二氧化碳运输技术也在向更大规模、更长距离、更经济的方向发展。相关运输装备、基础设施在近几年得到推动。

01.海上二氧化碳运输

全球首艘商用液态二氧化碳运输船交付

- 2024 年 11 月，大连船舶重工集团有限公司成功交付了全球首艘商用 7500 立方米液态二氧化碳运输船“北极光先锋”号。该船配置有两个特殊材料制造的全压式 C 型液货罐，可耐 -35°C 低温，用于运输二氧化碳^[34]。



液态二氧化碳运输船

³² 齐耀环保. 首台套船用碳捕集系统关键设备顺利通过 FAT 验收[EB/OL]. (2023-07-21) [2025-03-11]. http://www.qiyaootech.com/news_detail/32.html

³³ 中远海运重工有限公司. 全球首艘具有碳捕集功能 FPSO 在上海中远海运重工命名[EB/OL]. (2025-02-20) [2025-03-11]. https://chi.coscoshipping.com/col/col7982/art/2025/art_c39aa55f56a94231908a5a507caf067f.html

³⁴ 中国船舶集团有限公司. 冲刺四季度 | 全球首制！商用 7500 立方米液态二氧化碳运输船交付[EB/OL]. (2024-12-02) [2025-03-11]. <http://www.csic.com.cn/n135/n173/n193/c30801/content.html>

- 该船为挪威北极光公司建造，用于收集欧洲工业产生的二氧化碳，运至挪威西海岸地区二氧化碳接收端码头加以处理后注入海底地下 2600 米永久封存。

02. 运输管道及材料

各类尺寸的二氧化碳运输管道产品

- 管线管作为输送二氧化碳的管道材料，是 CCUS 项目输送二氧化碳的重要组成部分。2024 年 12 月，包钢股份钢管公司研发生产的二氧化碳输送管线管产品实现首次供货，为包钢 200 万吨（一期 50 万吨）CCUS 全产业链示范项目定制，具有优良的冲击韧性。



二氧化碳管道产品生产

- 2024 年 12 月，中国石油渤海装备研制了直径 610 毫米、壁厚 38 毫米的超临界二氧化碳输送用直缝埋弧焊管产品，是我国目前最大管径、最大壁厚的超临界二氧化碳输送用直缝埋弧焊管^[35]。与此同时，中油宝世顺公司与钢管研究院也联合开发了最小口径且低温性能优异的 L450M 钢级超临界二氧化碳输送用直径 355 毫米、壁厚 12.7 毫米的 JCOE 直缝埋弧焊管，可满足我国小输量输送超临界二氧化碳用管的迫切需求^{[36][37]}。

推动二氧化碳车船运向管输方式转变

- 华东油气分公司启动苏北张家垛区块二氧化碳输送管线工程（从泰兴市黄桥镇至姜堰区白米镇），全长 42km，实现 CO₂ 运输模式由车船运输向管输方式的转变，助力常规油提升采收率及页岩油的规模性开发。

³⁵ 河北经济日报. 国内最大超临界二氧化碳输送用直缝埋弧焊管试制成功[EB/OL]. (2024-12-23) [2025-03-11].

<http://epaper.hbjrb.com/Pad/jjrb/202412/23/con164290.html>

³⁶ 冶金信息网. 中油宝世顺公司成功开发最小口径超临界二氧化碳输送直缝埋弧焊管[EB/OL]. (2024-12-11) [2025-03-11].

https://mp.weixin.qq.com/s/?__biz=MzA3OTE5NDYwOA==&mid=2649957039&idx=6&sn=20b1d4a1abf386cdfcbbaf16897497b5&chksm=86a111bf33d375e35bd3d6ccf4aca0ccd6d9cc9103a694974ae47fb09d92a10010581b9ca8a&scene=27

³⁷ 包钢股份. “管”中送“碳”——包钢股份二氧化碳输送管线管助力 CCUS 项目建设[EB/OL]. (2024-12-25) [2025-03-11].

<https://www.baoganggf.com/newsinfo/7895018.html>

百公里二氧化碳运输管道投运

✿ 2023 年 7 月，“齐鲁石化-胜利油田百万吨级 CCUS 项目”二氧化碳输送管道正式投运。管道全长 109 公里，是我国首条百万吨输送规模、百公里输送距离、百公斤输送压力的高压常温密相二氧化碳输送管道。该项目是我国首次实现液体二氧化碳长距离密相管输，对推动 CCUS 全产业链规模化发展具有重要意义^[38]。

✿ 例如，管道投用前，项目二氧化碳运输依赖于罐车，每辆车装载约 25.5 吨二氧化碳，往返一趟需要 7 个多小时，运输成本相对较高。二氧化碳管道运输投用后，做到捕集、输送、利用、封存全过程、全密闭，每年可减少 4 万辆罐车行驶百公里运输费用，降低了交通资源占用和二氧化碳排放^[39]。



齐鲁石化 CO₂ 管道

400 公里二氧化碳运输管道规划建设

✿ 吉林油田正推进国内更大规模的二氧化碳输送管道建设。设计的吉林石化—吉林油田二氧化碳长输管道总长约 400 公里，途经长春、吉林、松原、四平 4 市 12 个县区，分两期建设^[40]。

✿ 长输管道有望支持将吉林石化捕集的二氧化碳，输送至吉林油田用于驱油并埋存，实现碳减排与油增产的双赢。项目建成后有望成为吉林省各碳排放企业与利用企业的主干碳网，形成覆盖吉林省的碳产业链，极大促进吉林地区企业绿色低碳转型和高质量发展。

碳封存：

双碳目标提出后，CCUS 碳封存项目得到了更多的关注，无论是陆上、海上都在开展更大规模的规划和工程示范，相关技术体系快速发展。与此同时，新型碳封存技术也得到了更多的研究和探索。

³⁸ 中国石化新闻网. 我国最长二氧化碳输送管道投运[EB/OL]. (2023-07-12) [2025-03-11].

http://www.sinopecnews.com.cn/xnews/content/2023-07/12/content_7070929.html

³⁹ 淄博发布. 全线位于淄博境内，我国首次实现二氧化碳长距离密相管输[EB/OL]. (2023-07-12) [2025-03-11].

https://www.thepaper.cn/newsDetail_forward_23825663

⁴⁰ 中国石油新闻中心. 吉林油田：全力推进国内最大规模二氧化碳输送管道建设[EB/OL]. (2024-10-11) [2025-03-12].

<http://news.cnpc.com.cn/system/2024/10/11/030144240.shtml>

01.海上 CCUS 项目示范

我国东部沿海地区碳排放高、陆上碳封存资源少，而将 CO₂ 运输至西部地区封存成本过高。依托海上 CCUS 项目的发展，可为沿海高排放企业提供降碳新思路。相关示范项目正在开展：

- ✿ 海上 CO₂ 回注项目。2023 年 6 月，中国海油在恩平 15-1 油田投用了我国海上首个碳捕集与封存示范工程，累计安全运行近 13000 小时，回注二氧化碳超 18 万吨。
- ✿ 海上 CO₂ 驱油封存项目。2025 年 3 月，我国珠江口盆地的恩平 15-1 平台开钻，采用“老井新用+分层注气”模式，预计 10 年累计规模化向海底地层注入二氧化碳超 100 万吨，同时提高油藏采收率驱动原油增产。



海上 CCUS 示范工程

02.陆上咸水层封存项目

- ✿ 陕煤集团榆林化学有限责任公司开展了 400 万吨/年 CCS 示范项目是我国拟建的最大的咸水层二氧化碳捕集封存项目。项目将煤化工装置排放的二氧化碳进行捕集，压缩后注入地下咸水层永久封存，并对二氧化碳地质封存、逃逸、储存能力及鄂尔多斯盆地地质特征等方面进行系统性研究。
- ✿ 预计用 10 年时间分三个阶段实施：第一阶段，率先建成 40 万吨/年 CCS 先导试验项目；第二阶段，开展百万吨级 CCS 技术开发与工程示范，建成国内第一个咸水层 CCS 地质封存实验室，牵头申报国家级 CCS 地质封存重大专项、CCS 地质封存研发中心，培养咸水层地质封存研究+应用型高端人才体系；第三阶段，建成封存规模世界前三、封存技术世界一流的咸水层 CCS 示范项目，涵盖榆林化学周边企业年排放二氧化碳约 2000 万吨，打造鄂尔多斯盆地东部区域 CCS 地质封存枢纽^[41]。
- ✿ 2025 年 3 月，40 万吨/年先导试验项目榆碳 1 井相关系统顺利完成中交，并有待适时封存。

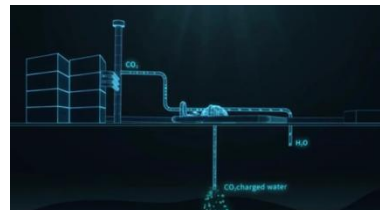


陕西碳封存先导试验

⁴¹ 中国石油和化学工业联合会. 陕煤榆林化学 40 万吨/年 CCS 先导试验项目开钻[EB/OL]. (2023-04-03) [2025-03-12]. <http://www.cpicf.org.cn/detail/e7cc6372-e422-480b-99bb-d90390a6f890>

03. 新型地质碳封存技术探索

✪ 玄武岩 CO_2 矿化封存是一种无需考虑盖层圈闭条件的地质碳汇模式，有望为工业碳源大规模集中处置提供更多的途径。据相关调查，我国玄武岩大体分布在东北、西北、西南等地区^[42]。



玄武岩封存技术

✪ 我国有多个地区对玄武岩碳封存潜力进行了评价。例如，海南省开展了琼北地区玄武岩 CO_2 矿化封存潜力评价及其地质保障技术应用研究，提出了玄武岩 CO_2 矿化封存潜力评价方法，建立了琼北地区玄武岩地层 CO_2 原位矿化封存的试验性场地^[43]。

✪ 我国也在开展玄武岩技术研究和示范工作。例如，福建省地质调查研究院与中国科学院地质与地球物理研究所的联合科研团队实施了国内的首例玄武岩原位封存二氧化碳的试验^[44]；腾讯集团和冰岛碳封存公司 Carbfix 合作，正在建设国内二氧化碳玄武岩矿化封存示范项目^[45]。

04. 更大规模的驱油封存项目

✪ 2022 年 9 月，我国首个百万吨级 CCUS 驱油项目“齐鲁石化——胜利油田百万吨级 CCUS 项目”正式运行^[46]。



齐鲁石化 CCUS 项目

✪ 中国石油推动了以松辽盆地 300 万吨 CCUS 重大示范工程为代表的“四大六小”产业格局。其中，长庆油田制定了《长庆油田千万吨级 CCUS 中长期发展规划》，总体规划部署年注气千万吨级规模的 CCUS 工程，“十四五”期间分别在陕、甘、宁三省区建设 3 个百万吨级 CCUS 工业化示范工程^[47]。吉林油田建成了全产业链、全流程 CCUS 项目，预计 2025 年年注入二氧化碳能力达到 138 万吨^[48]。

⁴² 陈霞玉,陈立辉,陈暘,et al. 中国中一东部地区新生代玄武岩的分布规律与面积汇总[J]. 高校地质学报, 2014, 000(004):507-519.

⁴³ 中国矿业报. 琼北玄武岩碳封存潜力评价立项[EB/OL]. (2025-01-20) [2025-03-12]. <https://mp.zgkyb.com/m/news/110382>

⁴⁴ 福建省自然资源厅. 我省实施国内首例玄武岩固碳封存试验[EB/OL]. (2025-01-26) [2025-03-12].

https://zrzyt.fujian.gov.cn/zwgk/xwdt/zrzyyw/202501/t20250126_6709985.htm

⁴⁵ 央广网. COP27 共商应对全球气候变化，腾讯探索科技助力碳中和[EB/OL]. (2022-11-18) [2025-03-12].

<https://tech.huanqiu.com/article/4AWXD3queG>

⁴⁶ 国家能源局. 我国首个百万吨级 CCUS 项目全面建成投产[EB/OL]. (2022-09-02) [2025-03-17].

https://www.nea.gov.cn/2022-09/02/c_1310658658.htm

⁴⁷ 中国石油新闻中心. 中国石油“四大六小”CCUS 产业格局一览[EB/OL]. (2023-03-09) [2025-03-17].

<http://news.cnpc.com.cn/system/2023/03/09/030095226.shtml>

⁴⁸ 人民网. 吉林油田：竞逐“碳”路“绿”动未来[EB/OL]. (2023-04-28) [2025-03-17]. <http://jl.people.com.cn/n2/2023/0428/c34977>

05.现场监测体系不断完善

- ✪ 现场监测技术体系在确保 CCUS 项目安全性、量化 CCUS 项目减排量、评价项目运行和质量等方面具有重要作用^[49]。我国相关科研院所、企业正不断推动和完善 CCUS 现场监测技术体系。
- ✪ 例如，延长石油结合工程项目开展了 CO₂ 动态监测技术体系相关探索^[50]，通过土壤、地表及大气等方面的监测技术应用，构建了从空间上覆盖地表、土壤、浅层地下水、地下深部，从时间上贯穿 CO₂ 注入前、注入过程中、注入后的一体化监测体系。

碳利用：

二氧化碳利用技术路线较为多元，除熟悉的食品利用、制干冰外，其他正在研发和示范阶段的二氧化碳利用技术体现出广阔的应用潜力，具有支撑我国工业部门（如钢铁、水泥、化工等）进行工艺创新和转型升级，减少原料使用以及降低碳排放等作用。

01.二氧化碳的矿化利用

电力行业：二氧化碳化学链矿化项目

- ✪ 2023 年 1 月，国内首套“火电厂二氧化碳化学链矿化利用 CCUS 技术研究与示范项目”在国电电力大同公司成功投运。项目采用的化学链矿化 CCUS 技术，以工业固废电石渣为原料，利用以氯化铵为主要组分的专有循环介质溶液，高效提取电石渣中的钙元素，进而与电厂烟气中的二氧化碳反应，生产高纯度微米级碳酸钙产品。该项目通过将二氧化碳转化为碳酸钙固体，实现长期稳定固碳，具有较高的经济价值和广泛的应用市场。相较于传统开山及高温煅烧工艺生产的碳酸钙，该项目生产 1 吨绿色矿化碳酸钙产品，可减少碳排放 1.03 吨^[51]。



电厂化学链矿化项目

⁴⁹ 魏宁,刘胜男,李小春等. CO₂ 地质利用与封存的关键技术清单[J]. 洁净煤技术,2022,28(6):14-25.

⁵⁰ 康宇龙,白艳伟,江绍静,王维波,王宏,梁凯强. 延长石油碳捕集、利用与封存全流程技术特色与工程实践[J].应用化工,2020,49(7):1768-17711775.

⁵¹ 大同市人民政府. 国内首套化学链矿化 CCUS 项目在大同投运! [EB/OL]. (2023-01-13) [2025-03-12]. <https://www.dt.gov.cn/dtszf/bumdtcm/202301/1dec6bfaf1e84fbd72ffc8bf5da2651.shtml>

- 2023 年 12 月，国家能源集团锦界公司 15 万吨碳捕集装置，通过管道直供二氧化碳气体养护的粉煤灰砖出釜，打通了二氧化碳“捕集-管输-配气-养护”一体化的二氧化碳矿化粉煤灰砖工艺路线。利用粉煤灰、炉渣等固废的原料理化特性和矿化反应活性，制备出高强度、高固碳率、负碳排放的矿化建材产品，可同步解决电厂固废及二氧化碳消纳问题^{[52][53]}。

钢铁行业：固废和二氧化碳矿化示范项目

- 我国包钢集团等实现了钢渣矿化利用技术突破。其中，包钢集团碳化法钢铁渣综合利用项目（一期）成功入选国家发改委《绿色低碳先进技术示范项目清单（第一批）》^[54]。



渣铁处理反应罐取样

02.二氧化碳作为工质气

电力行业：超临界二氧化碳作为发电工质

- 超临界二氧化碳工质发电技术作为一种高效率、灵活性强、环保、成本低的新型能源技术，具有广阔的应用前景和发展空间。
- 2021 年 12 月，华能集团研发和投运了我国首座大型（5 兆瓦）超临界二氧化碳循环发电试验机组。循环利用二氧化碳驱动发电机发电，与传统蒸汽发电相比具有三大优势：1) 体积小，同等装机容量，二氧化碳发电机组体积只有蒸汽机组的 1/25；2) 效率高，在 600℃时，发电效率比蒸汽机组提高 3 至 5 个百分点；3) 污染小，采用二氧化碳发电机组的燃煤电厂，单位发电量碳排放强度可减少 10%^[55]。



超临界 CO₂ 光热发电基地

⁵² 中国能源新闻网。国家能源集团制出二氧化碳矿化砖[EB/OL]. (2023-12-14) [2025-04-01].

https://www.cpn.com.cn/news/nyqy/202312/t20231213_1659939.html

⁵³ 国电电力。国内首套化学链矿化 CCUS 示范项目在国家能源集团启动调试[EB/OL]. (2022-11-09) [2025-03-12].

<https://www.chnenergy.com.cn/gjnyjtw/chnjcxw/202211/766fc2a0efc04256920e113904ee0b3a.shtml>

⁵⁴ 内蒙古日报。包钢碳化法钢铁渣综合利用项目 成为全国首批绿色低碳示范项目[EB/OL]. (2024-06-02) [2025-03-12].

https://szb.northnews.cn/nmgrb/html/2024-06/03/content_47307_234418.htm

⁵⁵ 国家太阳能光热产业技术创新战略联盟。我国首座大型超临界二氧化碳循环发电机组投运[EB/OL]. (2021-12-09) [2025-03-13].

<http://www.cnste.org/html/xiangmu/2021/1209/8491.html>

- 2024 年 8 月, 我国首座超临界二氧化碳光热发电机组研制成功^[56]。科研团队着重解决了高温吸热器设计理论及方法、储热放热模式对系统性能的影响机理、能量转换过程的相互作用机制三个关键科学问题。

储能行业：二氧化碳储能系统

- 2024 年 1 月, 百穰新能源科技(深圳)有限公司、安徽海螺集团有限责任公司和西安交通大学联合研发了全球首套 10MW/80MWh 二氧化碳储能示范系统。
- 二氧化碳储能系统可深度耦合海螺水泥的 CCUS 捕集产线, 将水泥产线上捕集的二氧化碳用于储能系统, 实现二氧化碳的暂态封存, 既降低了储能系统成本, 又减少了碳封存成本, 实现了二氧化碳捕集与循环利用^[57]。



CO₂ 储能系统

03. 二氧化碳作为化工原料

二氧化碳制乙烯、乙酸等化学品

- 我国科研院所和企业开展了二氧化碳制乙烯、乙酸、甲烷等化学品相关研究。
- 例如, 中国华能集团清洁能源技术研究院牵头, 联合北京大学、山东大学、中国科学院化学研究所、碳能科技(北京)有限公司及英国曼彻斯特大学共同实施国家重点研发计划“电热耦合二氧化碳连续转化制高纯度乙烯关键技术研究”^[58]。



河北建滔醋酸碳利用项目

- 2023 年 6 月, 华中科技大学等发表论文, 采用电催化二氧化碳还原技术制乙酸^[59]。以往采用化学合成或淀粉发酵法等传统方法生产乙酸, 每生产 1 千克乙酸会排放约 1.6 千克二氧化碳。通过二氧化碳利用技术能够将二氧化碳作为原料, 实现“变废为宝”。

⁵⁶ 电工研究所。国家重点研发计划“超临界 CO₂ 太阳能热发电关键基础问题研究”项目顺利通过验收[EB/OL]. (2024-08-22) [2025-03-13]. http://www.iee.cas.cn/xwzx/kydt/kxdt2020_204261/202408/t20240822_7309342.html

⁵⁷ 北京能源协会。全球首套二氧化碳储能示范系统[EB/OL]. (2024-07-13) [2025-03-13]. <https://ner.jgvgogel.cn/c/1422/1422015.shtml>

⁵⁸ 国际能源网。国家重点研发计划“电热耦合二氧化碳连续转化制高纯度乙烯关键技术研究”项目启动会顺利召开[EB/OL]. (2025-3-13) [2025-03-17]. <https://mnewenergy.in-en.com/html/newenergy-2439545.shtml>

⁵⁹ 中国科学院。二氧化碳再添新归宿 两步法高效生成乙酸[EB/OL]. (2023-05-23) [2025-03-14]. http://www.cas.ac.cn/kj/202305/t20230523_4889113.shtml

- 2025 年 2 月, 河北建滔能源发展有限公司年产 80 万吨醋酸碳利用项目投产, 该项目利用燃煤烟气中的二氧化碳, 经分解转化等生产醋酸^[60]。

二氧化碳加氢制甲醇

- 利用二氧化碳加氢制低碳甲醇的技术路线快速兴起, 带动绿氢、绿色化工、二氧化碳捕集等多个产业的发展。我国已有多个地区开展了相关工程示范。

- 2020 年 9 月, 中国化学工程所属成达公司、海洋石油富岛公司、中国科学院上海高等研究院共同研发设计建设的全球首套 5000 吨/年二氧化碳加氢制甲醇工业试验装置在海洋石油富岛有限公司实现稳定运行^[61]。



中国化学工程集团项目

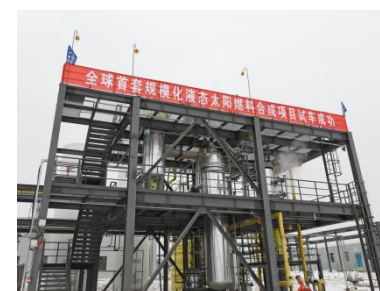
- 2023 年 2 月, 吉利控股集团和河南顺成集团共同投资的全球首个十万吨级绿色低碳甲醇项目在安阳正式投产。项目综合利用顺成集团富氢富甲烷的焦炉气和从工业尾气中捕集的二氧化碳, 合成生产甲醇并联合产液化天然气^[62]。



吉利、河南顺成项目

- 2024 年 10 月, 阿拉善启动国内首个 50 万吨级电解水制氢耦合工业捕集的二氧化碳合成绿色甲醇项目。项目通过利用可再生能源电解水制氢, 与园区内企业烟气捕集的二氧化碳合成绿色低碳甲醇, 实现二氧化碳资源化利用^[63]。

- 2024 年 11 月, 中煤鄂尔多斯能源化工有限公司 10 万吨/年“液态阳光”项目开工建设。项目利用太阳能、风能等可再生能源产生的电力电解制绿氢, 再将化工装置排放尾气提纯精制的二氧化碳与绿氢转化为甲醇, 实现规模化绿电绿氢消纳和二氧化碳资源化利用^[64]。



“液态阳光”装置

⁶⁰ 河北日报. 新闻纵深 | 神奇化工厂, 像森林一样“吸碳” [EB/OL]. (2023-02-24) [2025-03-14]. <https://hbxw.hebnews.cn/news/513096.html>

⁶¹ 国务院国有资产监督管理委员会. 全球首套 5000 吨/年二氧化碳加氢制甲醇工业试验装置通过考核评估 [EB/OL]. (2020-10-12) [2025-03-14]. <http://www.sasac.gov.cn/n2588025/n2588124/c15642769/content.html>

⁶² 河南省人民政府. 全球首个十万吨级绿色甲醇项目在安阳投产每年可“吃掉”二氧化碳 16 万吨 [EB/OL]. (2022-02-22) [2025-03-14]. <https://www.henan.gov.cn/2023/02-22/2693184.html>

⁶³ 内蒙古自治区人民政府. 阿拉善启动年产 50 万吨绿色甲醇项目 [EB/OL]. (2024-10-29) [2025-03-14]. https://www.nmg.gov.cn/zwyw/gzdt/msdt/202410/t20241029_2597890.html

⁶⁴ 鄂尔多斯市人民政府. 中煤 10 万吨级“液态阳光”项目正式开工建设 [EB/OL]. (2020-10-12) [2025-03-14]. https://www.ordos.gov.cn/xw_127672/qgdt/202411/t20241127_3724481.html

- ✪ 2025 年 1 月，华东理工大学与申能股份有限公司通过产学研合作，在上海外高桥第三发电有限责任公司建立一套燃煤电厂烟气捕集二氧化碳制 1 万吨/年甲醇的示范装置，实现燃煤电厂锅炉烟气高效二氧化碳捕集和制甲醇^[65]。

二氧化碳制绿色航煤

- ✪ 绿色航空煤油是支持航空业减排的重要举措，利用二氧化碳制绿色航煤是全球热点研究领域。中国科学院上海高等研究院、清华大学等科研机构开展了相关研究^[66,67]。

04.二氧化碳的其他应用

二氧化碳制糖类衍生物等

- ✪ 2021 年 9 月，中科院天津工业生物技术研究所在国际上首次实现二氧化碳到淀粉从头合成的重大突破。2022 年底，该技术迈出从实验室走向生产线的关键一步，建成吨级中试装置^[68]。
- ✪ 2023 年，电子科技大学、中国科学院深圳先进技术研究院合成生物学研究所通过电化学偶联微生物细胞工厂，实现了将二氧化碳变成葡萄糖和脂肪酸，为将二氧化碳可持续转变成糖衍生食品和化学品提供可行、高效的方法^[69]。

跨行业耦合：

随着我国在 CCUS 多个技术路线上取得进展，相关行业正在依托 CCUS 探索跨行业耦合，以实现协同降碳的目标。目前，在钢化联产、CCUS+新能源等方面取得一些突破。

⁶⁵ 华东理工大学. 全国首个燃煤烟气二氧化碳捕集制甲醇万吨级项目通过考核[EB/OL]. (2025-01-17) [2025-03-14].

<https://news.ecust.edu.cn/2025/0120/c160a187412/page.htm>

⁶⁶ 中国科学院上海高等研究院. 上海高研院在碳中和航空燃料合成领域取得重要突破[EB/OL]. (2021-11-01) [2025-03-14].

http://www.sari.cas.cn/kjdt/kjjz/202111/t20211101_6239968.html

⁶⁷ 清华大学. 化工系魏飞团队在二氧化碳制绿色航煤领域取得重要进展[EB/OL]. (2025-01-25) [2025-03-14].

<https://www.tsinghua.edu.cn/info/1175/91107.htm>

⁶⁸ 中国科学报. 凭“空”造淀粉，他们如何把梦想变为现实？[EB/OL]. (2024-05-22) [2025-3-17].

https://www.cas.cn/zt/kjzt/kjzlzqzl/kjzlzq/202405/t20240522_5015444.shtml

⁶⁹ 中国科学院. 二氧化碳可“变”葡萄糖和脂肪酸[EB/OL]. (2023-12-15) [2025-3-17].

http://www.cas.ac.cn/cm/202204/t20220429_4833302.shtml

01.钢化联产

- ✿ 2021 年 10 月，国务院印发的《2030 年前碳达峰行动方案》，明确指出“鼓励钢化联产”；2022 年 2 月，国家发改委、工信部、生态环境部《关于促进钢铁工业高质量发展的指导意见》，提出“积极推进钢铁与建材、电力、化工、有色等产业耦合发展”。
- ✿ 钢化联产较适用于钢铁与建材、电力、化工、有色等产业集聚的地区。目前我国已有将副产煤气中的一氧化碳、二氧化碳、氢气、甲烷等分离提纯生产甲醇、乙醇、乙二醇等化学品的相关案例。另外，利用钢渣矿化技术制备建材产品^[70]，也是实现钢化联产的可行路径。

02.新能源+CCUS

- ✿ 将“煤电+CCUS”与新能源发电结合，有助于提升基于大比例新能源发电的电力系统稳定性。2024 年 5 月，中国石油新疆油田分公司启动了“新能源+煤电+CCUS”一体化项目。项目由 3 个分项目构成，为 400 万千瓦新能源+2×66 万千瓦超超临界燃煤机组+200 万吨/年二氧化碳捕集。建成后将有力推动区域能源产业发展和用能结构改善，促进城市绿色低碳转型，为新疆北疆区域电网安全运行提供可靠电源支撑^[71]。

03.储能+CCUS

- ✿ 储能+CCUS 目前大致有两种思路：1) 将 CO₂ 作为工质气用于储能系统。我国已成功开展二氧化碳储能系统相关示范，可与工业 CCUS 捕集产线耦合，将过程排放的二氧化碳捕集起来用于储能系统；2) 从更广义的角度出发，将原本运输难度和成本较高的氢与 CO₂ 转化成较易于运输的化学品，以化学品的形式储能。我国围绕二氧化碳加氢制化学品方面开展了很多实践，可支撑这一思路的实现。

⁷⁰ 石春艳,张国帅,李益,等.碳中和背景下的钢化联产发展趋势[J].过程工程学报, 2022, 22(10):8.

⁷¹ 中国石油新闻中心. 中国石油最大“新能源+煤电+CCUS”一体化项目在疆启动[EB/OL]. (2024-05-29) [2025-03-17]. <http://news.cnpc.com.cn/system/2024/05/29/030133422.shtml>

集群规划：

CCUS 集群化发展具有重要意义。一方面，通过共享运输和封存基础设施，降低初期投入成本；在运营期间，通过规模效应降低运行成本，加深利益相关方合作和孵化商业模式。另一方面，区域层面还可依托 CCUS 集群化相关运输和封存基础设施，统筹相关行业降碳、孵化绿色产业和促进绿色发展。根据油气行业气候倡议组织（OGCI）于 2023 年发布的《CCUS 中心》报告，我国有多个区域具有发展 CCUS 集群的重要潜力，涉及准噶尔盆地、松辽盆地、鄂尔多斯盆地、苏北盆地、珠江口盆地等^[72]。

01.海上集群

- ✪ 我国渤海、东海、南海北部等都有发展海上 CCUS 集群的新机遇^[73]，涉及山东、广东、浙江、海南、香港、澳门等地区^[74]。
- ✪ 我国正在推动海上集群相关研究。例如，在珠江口，中国海油、广东发改委、壳牌（中国）、埃克森美孚（中国）签署了大亚湾区二氧化碳捕集、利用及封存集群研究项目谅解备忘录，依托大亚湾工业园区 40 余家石化企业探索海上规模化 CCUS 集群项目，聚焦大亚湾区二氧化碳减排问题，助力惠州建成世界级绿色石化产业高地。另外，在渤海湾盆地、长三角，中国石化也在开展千万吨级 CCUS 产业集群建设^[75]。

02.陆上集群

- ✪ 我国准噶尔盆地、松辽盆地、鄂尔多斯盆地、苏北盆地等也在开展集群相关规划和筹备工作，涉及内蒙古、宁夏、陕西、吉林、山东、新疆、浙江、江苏等地区^[76]。

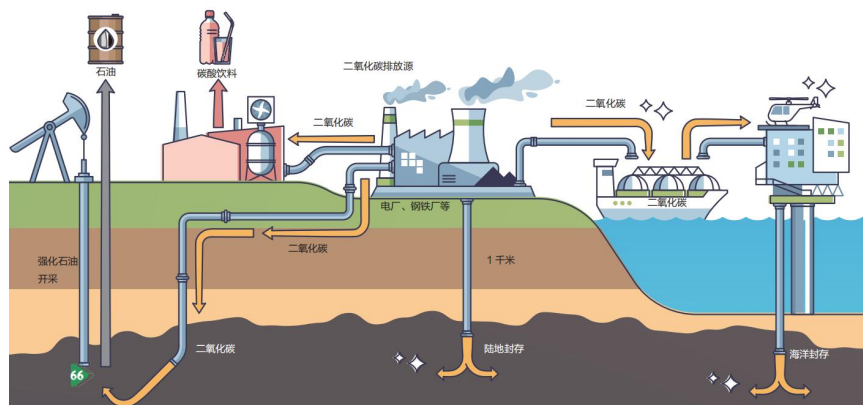
⁷² OGCI. THE CCUS HUB - A playbook for regulators, industrial emitters and hub developers[R]. 2023.

⁷³ 国复咨询. 碳中和|离岸 CCUS 技术研发前景[EB/OL]. [2025-04-02]. <https://www.goalfore.cn/a/4140.html>

⁷⁴ 滕莹,李佳洁,刘颖等.离岸 CO₂ 地质封存适宜性评价与源汇匹配研究进展[J].华南师范大学学报(自然科学版), 2025, 57(01): 100-112.

⁷⁵ 中国能源报. CCUS 全产业链发展提速[EB/OL]. (2024-09-16) [2025-03-18]. <http://paper.people.com.cn/zgnyb/images/2024-09/16/16/zgnyb2024091616.pdf>

- ✿ 在西北，新疆正在大力推动 CCUS 产业集群发展^[76]，在准噶尔盆地、吐哈盆地、塔里木盆地均有 CCUS 项目实践^[77]。例如，中国石油新疆油田按照“清洁替代、战略接替、绿色转型”战略部署，制定了千万吨级 CCUS 远景规划，计划用 3 个 5 年时间实现盆地 1000 万吨/年驱油、1000 万吨/年咸水层埋存及盆地二氧化碳管输环网建设的目标。2025 年 3 月，中国石油新疆油田在准噶尔盆地东、中、西部首次实现二氧化碳规模化注入全覆盖^[78]。
- ✿ 在东北，吉林成功建设了国内首个全产业链、全流程的 CCUS 示范区。2025 年 3 月，吉林油田自主研发亚洲首个全产业链 CCUS 工程专用压缩机组，为吉林油田后续打造 CCUS 产业集群奠定了坚实基础^[79]。
- ✿ 在华东，中国石化与壳牌、中国宝武、巴斯夫签署合作谅解备忘录，启动首个开放式千万吨级 CCUS 项目。项目拟将长江沿线包括化工厂、钢材厂、电厂、水泥厂等在内的工业企业产生的碳源，通过槽船集中运输至二氧化碳接收站，通过距离较短的管线再把接收站的二氧化碳输送至陆上或海上的封存点，为华东地区工业企业提供灵活、有效的一体化二氧化碳减排方案，助力华东地区现有产业脱碳，打造低碳产品供应链^[80]；
- ✿ 另外，一些地级市也率先出台了 CCUS 集群发展政策。例如，山东省东营市开展了 CCUS 产业发展规划编制，提出建设具有成本竞争力的亿吨级 CCUS 产业集群，努力打造国家 CCUS 产业基地和环渤海区域 CCUS 产业枢纽^[81]。



⁷⁶ 中国石油新闻中心. CCUS 转入集群化发展新阶段[EB/OL]. (2022-11-21)

[2025-03-17].<http://news.cnpc.com.cn/system/2022/11/21/030085598.shtml>

⁷⁷ 新疆日报. 新疆四大油田推动 CCUS 产业初步形成[EB/OL]. (2024-01-22)

[2025-03-17].<http://www.tanjiaoyi.com/article-62418-1.html>

⁷⁸ 中新网新疆. 中国石油新疆油田公司二氧化碳规模化注入跑出“加速度” (2025-03-18) [2025-03-18].

<https://www.xj.chinanews.com.cn/jingji/2025-03-18/detail-iheptshp5420074.shtml>

⁷⁹ 中国石油新闻中心. 吉林油田着力打造 CCUS 产业集群[EB/OL]. (2025-03-18) [2025-03-18].

<https://news.cnpc.com.cn/system/2025/03/18/030157666.shtml>

⁸⁰ 中国石化. 我国首个开放式千万吨级 CCUS 项目启动[EB/OL]. (2022-11-04) [2025-03-17].

http://www.chinacpc.com.cn/info/2022-11-04/news_6809.html

⁸¹ 齐鲁网·闪电新闻. 东营市在全国率先启动并完成 CCUS 产业发展规划编制[EB/OL]. (2024-12-04) [2025-03-17].

<https://baijiahao.baidu.com/s?id=1817481519489003011&wfr=spider&for=pc>

4.结论和展望

——技术发展前景广阔，更多作用有待发挥

- 随着 CCUS 科技和产业发展的不断深入，其作用和意义还可更广泛的探讨。目前，CCUS 对工业、能源领域绿色低碳发展的重要作用已获得普遍认可；相关基础设施在统筹二氧化碳区域源汇匹配、便利二氧化碳资源化利用方面的潜力在得到更多关注。未来，依托 CCUS 项目还有望带动周边涉碳新产业的发展，并带来更多的经济与社会效益。

——管理工具不断完善，引导行业健康发展

- 我国各级政策的陆续实施为 CCUS 发展提供了重要引导和支持。例如，我国行业主管部门出台政策，推动 CCUS 在能源和工业领域的应用，为 CCUS 示范项目提供资金支持和要素保障；我国绝大多数地区政策也纳入了 CCUS 的发展任务，依托 CCUS 实现双碳目标，发展未来产业，推动科技创新、产业升级与高质量发展。今后，有待继续完善相关政策，聚焦权属、监管等方面加快健全法律法规，加快推动标准研制，引导行业健康发展。

——有机融入生产环节，技术应用取得突破

- 得益于 CCUS 多元化的技术路线，工业、能源等行业开展了丰富的探索。随着越来越多 CCUS 新技术融入工业、能源等行业的生产环节，CCUS 对相关行业绿色低碳、转型升级、提升竞争力的作用得到更多重视。我国钢铁、水泥、化工等行业涌现出一批“领军企业”，在提升技术性能水平、前沿技术突破、应用场景研究、技术路线探索、跨行业耦合等方面取得进展。

——支撑区域绿色发展，集群化需求逐步显现

- ✪ 我国具有多个适宜发展 CCUS 集群的区域。这些区域有潜力通过 CCUS 集群相关基础设施，不断扩大源汇匹配规模，促进更大范围的上下游产业合作，形成大幅降碳的目标。在 CCUS 集群项目的支持下，还可实现对区域内二氧化碳的统筹分配，以及推动商业模式的形成，为早日实现商业化目标提速。

——更多绿色金融创新，有利于激励产业发展

- ✪ 为 CCUS 发展提供资金激励有助于缓解企业转型压力，提升科技创新、产业示范积极性。我国更多金融机构积极响应国家政策方针，瞄准未来发展机遇进行长远布局，开展了绿色金融方面的创新，为 CCUS 项目提供了绿色保险、绿色债券、绿色贷款、激励基金等各类支持，激发了产业创新活力。

附件 政策时间线（2023 年至今）

近年来，主管部门、地方政府结合顶层文件（如“十四五规划”、双碳“1+N”政策体系）出台了更多指导政策。涉及**扩大示范、低碳转型、区域规划、标准支撑、量化核算、财税支持、金融支持**等多个方面。

扩大示范：

2021 年 10 月发布的《中共中央 国务院关于完整准确全面贯彻新发展理念做好碳达峰碳中和工作的意见》《2030 年前碳达峰行动方案》顶层文件提出了“推进规模化碳捕集利用与封存技术研发、示范和产业化应用”的任务，国家发展改革委、科技部、工业和信息化部等制定了《绿色低碳先进技术示范工程实施方案》，并发布了《绿色低碳先进技术示范项目清单》。

2023 年 8 月 国家发展改革委 科技部 工业和信息化部等《绿色低碳先进技术示范工程实施方案》

——明确了绿色低碳先进技术示范工程总体要求、主要目标和重点方向等

过程降碳：

低碳（近零碳）产业园区示范项目。系统运用非化石能源开发、综合能源系统和智慧微网建设、能源系统优化和梯级利用、工艺流程再造、产业间物质流循环耦合、**碳捕集利用与封存**等多种方式，实现产业园区深度减排，建设绿色低碳产业园区。

末端固碳：

全流程规模化 CCUS 示范项目。以石化、煤化工、煤电、钢铁、有色、建材、石油开采等行业为重点，选择产业集聚度高、地质条件较好的地方，建设若干全流程规模化 CCUS 示范项目。对于石化、煤化工、石油开采行业，项目年捕集利用与封存量不低于 50 万吨，原则上应配套建设二氧化碳输送管道；对于煤电、钢铁、有色、建材行业，项目年捕集利用与封存量不低于 10 万吨。

二氧化碳先进高效捕集示范项目。采用新工艺、新设备、新型溶剂或材料，实现低浓度二氧化碳高效低成本捕集的先进技术示范项目。

二氧化碳资源化利用及固碳示范项目。包括二氧化碳制备合成气、甲醇等液体燃料、聚合物材料等化学利用，二氧化碳人工生物转化，二氧化碳矿化固定等。

2024 年 3 月 国家发展改革委办公厅《绿色低碳先进技术示范项目清单（第一批）》

🌟 包含以下末端固碳类项目：

项目名称	项目企业
百万吨级二氧化碳捕集利用与封存研究及示范项目	华能陇东正宁电厂
10 万吨级二氧化碳地质封存科学研究设施及碳捕集与封存示范项目	陕西翰坤世纪环保科技
年产 30 万吨二氧化碳基聚碳酸酯多元醇项目（一期）	安徽普碳新材料科技
10 万吨/年二氧化碳化学链矿化利用工业示范项目	中石化碳产业科技
碳化法钢渣综合利用示范项目（一期）	包头（钢铁）集团、内蒙古包融环保新材料、融矿环保科技（上海）
含二氧化碳工业尾气生物合成无水乙醇项目	河北首朗新能源科技

2024 年 9 月 国家发展改革委办公厅《国家发展改革委办公厅关于组织申报第二批绿色低碳先进技术示范项目的通知》

🌟 包括 30 个具体技术方向，其中，碳捕集利用与封存示范项目：重点支持煤电、石化、化工、钢铁、建材等行业碳捕集利用与封存项目，**煤电机组项目年捕集量不低于 100 万吨，石化、化工、钢铁项目年捕集量不低于 30 万吨，建材（水泥）行业项目年捕集量不低于 30 万吨。**优先支持配套建设二氧化碳输送管道、进行咸水层地质封存或二氧化碳驱油的全流程项目。

2025 年 4 月 国家发展改革委《关于向社会公开征求<绿色低碳先进技术示范项目清单（第二批）>意见的公告》

🏆 **涉及以下源头降碳类项目：**

项目名称	项目企业
柔性风光储氢氨醇一体化示范项目（涉及 CO ₂ 加氢制甲醇）	安达市天楹新能源有限公司
200 兆瓦压缩二氧化碳熔盐储热电化学混合储能示范项目	首航能源集团昌吉热电有限公司
100 兆瓦气液互转二氧化碳储能电站示范项目	华电新疆发电有限公司新能源分公司、东方电气集团东方汽轮机有限公司

🏆 **包含以下末端固碳类项目：**

项目名称	项目企业
280 万吨二氧化碳捕集密相管输驱油封存全链技术与示范项目	石河子市敦华气体技术有限公司
延长石油低渗致密油藏百万吨级全流程一体化二氧化碳捕集封存与利用技术示范项目	延长石油（集团）有限责任公司
新疆油田 100 万吨碳捕集一体化示范项目（一期）	中国石油天然气股份有限公司新疆油田分公司
化工园区 30 万吨二氧化碳高效低耗全碳捕集制取锂电池新材料循环利用示范项目	湖北佑宁科技有限公司
30 万吨二氧化碳全氧燃烧富集提纯水泥熟料生产线改造示范项目	青州中联水泥有限公司
60 万吨二氧化碳回收制绿色有机缓释化肥示范项目	新疆天科隆化学有限公司
吉林油田二氧化碳管道工程示范项目（一期）	中国石油天然气股份有限公司吉林油田分公司

低碳转型：

2024 年 8 月，《中共中央、国务院关于加强经济社会发展全面绿色转型的意见》进一步明确要“稳妥推进能源绿色低碳转型，加强化石能源清洁高效利用，推进二氧化碳捕集利用与封存项目建设”、“发挥科技创新支撑作用，加快关键技术研发，聚焦二氧化碳捕集利用与封存等领域，统筹强化关键核心技术攻关”等任务。国家发展改革委员会、科技部、工业和信息化部、自然资源部等制定了一系列政策，加快推动煤基产业、炼油行业、制造业低碳转型升级。

2023 年 6 月 国家发展改革委 工业和信息化部 自然资源部等《国家发展改革委等部门关于推动现代煤化工产业健康发展的通知》

——提出要规范项目建设管理、假期规划布局引导、加大科技创新力度、推动绿色低碳发展、加强安全环保监管、明确各方责任分工

加大科技创新力度：

鼓励新建现代煤化工项目承担相应的技术创新示范升级任务，实施重大技术装备攻关工程，加快产业技术优化升级，推进原始创新和集成创新。在资源禀赋和产业基础较好的地区，**推动现代煤化工与可再生能源、绿氢、二氧化碳捕集利用与封存（CCUS）等耦合创新发展。**

2023 年 10 月 国家发展改革委 国家能源局 工业和信息化部等《国家发展改革委等部门关于促进炼油行业绿色创新高质量发展的指导意见》

——明确了炼油行业绿色创新高质量发展的总体要求、主要目标、重点任务、保障措施等

主要目标：

2030 年，产能结构和生产力布局进一步优化，化工原材料和特种产品保障能力大幅提升，能效和环保绩效达到标杆水平的炼油产能比例大幅提升，技术装备实力、能源资源利用效率达到国际先进水平。绿氢炼化、**二氧化碳捕集利用与封存等技术完成工业化、规模化示范验证，建设一批可借鉴、可复制的绿色低碳标杆企业，支撑 2030 年前全国碳排放达峰。**

2023 年 12 月 工业和信息化部 国家发展改革委 教育部等《工业和信息化部等八部门关于加快传统制造业转型升级的指导意见》

——明确了加快传统制造业转型升级的发展基础和总体要求，提出强化绿色低碳发展，深入实施节能降碳改造等要求

🌟 强化绿色低碳发展，深入实施节能降碳改造：

采用实施重点领域碳达峰行动。落实工业领域和有色、建材等重点行业碳达峰实施方案，完善工业节能管理制度，推进节能降碳技术改造。开展产能置换政策实施情况评估，完善跨区域产能置换机制，对能效高、碳排放低的技术改造项目，适当给予产能置换比例政策支持。积极发展应用非粮生物基材料等绿色低碳材料。建立健全碳排放核算体系，加快建立产品碳足迹管理体系，**开展减污降碳协同创新和碳捕集、封存、综合利用工程试点示范。**有序推进重点行业煤炭减量替代，合理引导工业用气增长，提升工业终端用能电气化水平。

2023 年 12 月 国家发展改革委《产业结构调整指导目录（2024 年本）》

——由鼓励类、限制类和淘汰类三类目录组成。CCUS 属于鼓励类。

🌟 电力：

燃煤发电机组二氧化碳捕集、利用与封存技术，减污降碳协同增效技术开发与应用，火力发电机组节能降碳改造、供热改造、灵活性改造，煤电机组深度调峰安全防范技术研发与应用；

🌟 建材：

水泥原燃材料替代及协同处置技术、新型固碳胶凝材料及制品制备技术；**窑炉烟气二氧化碳捕集、纯化、利用及贮存技术**；水泥行业超低排放技术；水泥生产制备全氧燃烧、富氧燃烧；

🌟 环境保护与资源节约综合利用：

碳捕集利用与封存工程、技术装备与技术服务，低浓度二氧化碳高效低成本捕集技术开发与应用，烟气二氧化碳捕集纯化利用技术的研发与应用。

2024 年 2 月 国家发展改革委 工业和信息化部 自然资源部等《绿色低碳转型产业指导目录（2024 年版）》

——覆盖七大产业，即节能降碳产业、环境保护产业、资源循环利用产业、能源绿色低碳转型、生态保护修复和利用、基础设施绿色升级、绿色服务

🌟 **二氧化碳捕集利用与封存：**

包括将二氧化碳从工业生产、能源利用过程中产生的废气或大气中分离出来，加以资源化利用、注入地层封存，如火电厂二氧化碳捕集、二氧化碳驱油、二氧化碳地质封存、生物质能碳捕集与封存、直接空气捕集等技术应用。

2024 年 2 月 工业和信息化部 国家发展改革委 财政部等《工业和信息化部等七部门关于加快推动制造业绿色化发展的指导意见》

——明确了加快推动制造业绿色化发展的总体要求，提出加快传统产业绿色低碳转型升级、推动新兴产业绿色低碳高起点发展、培育制造业绿色融合新业态、提升制造业绿色发展基础能力等任务

🌟 **推动新兴产业绿色低碳高起点发展：**

前瞻布局绿色低碳领域未来产业。聚焦“双碳”目标下能源革命和产业变革需求，谋划布局氢能、储能、生物制造、碳捕集利用与封存（CCUS）等未来能源和未来制造产业发展。聚焦 CCUS 技术全生命周期能效提升和成本降低，开展 CCUS 与工业流程耦合、二氧化碳生物转化利用等技术研发及示范。

2024 年 3 月 国家发展改革委 工业和信息化部 自然资源部等《国家发展改革委等部门关于支持内蒙古绿色低碳高质量发展若干政策措施的通知》

——支持内蒙古大力发展以绿色低碳为鲜明特征的新质生产力，进一步推动内蒙古绿色低碳高质量发展。

🌟 **构建绿色低碳现代产业体系：**

推动现代煤化工产业高端化、多元化、低碳化发展，高质量建设鄂尔多斯现代煤化工产业示范区和煤制油气战略基地，探索现代煤化工与绿氢、碳捕集利用与封存耦合发展模式，积极推进煤基特种燃料、煤基生物可降解材料等技术研发和工业化应用。

2024 年 6 月 国家发展改革委 国家能源局《煤电低碳化改造建设行动方案（2024—2027 年）》

——明确了煤电低碳化改造的主要目标、改造和建设方式、改造和建设要求、保障措施等

✿ 改造和建设方式：

采用化学法、吸附法、膜法等技术，分离捕集燃煤锅炉烟气中的二氧化碳，通过压力、温度调节等方式实现二氧化碳再生并提纯压缩。推广应用二氧化碳高效驱油等地质利用技术、二氧化碳加氢制甲醇等化工利用技术。因地制宜实施二氧化碳地质封存。

✿ 改造和建设要求：

实施碳捕集利用与封存的项目，所在地及周边应具备二氧化碳资源化利用场景，或具有长期稳定地质封存条件。

✿ 保障措施：

推动对加装碳捕集利用与封存设施部分电量予以单独计量。统筹科研院所、行业协会、骨干企业等创新资源，加快煤电烟气二氧化碳捕集降耗、吸收剂减损、大型塔内件传质性能提升、捕集—发电系统协同、控制流程优化等技术研发，补齐二氧化碳资源化利用、咸水层封存、产业集成耦合等技术短板。

2024 年 7 月 国家发展改革委 国家能源局 国家数据局《加快构建新型电力系统行动方案（2024—2027 年）》

——明确了加快构建新型电力系统的总体要求，提出开展电力系统稳定保障行动、大规模高比例新能源外送攻坚行动、智慧化调度体系建设行动、新能源系统友好性能提升行动、新一代煤电升级行动电力系统调节能力优化行动等

✿ 新一代煤电升级行动：

应用零碳或低碳燃料掺烧、碳捕集利用与封存等低碳煤电技术路线，促进煤电碳排放水平大幅下降。

2024 年 8 月 《中共中央 国务院 关于加快经济社会发展全面绿色转型的意见》

——明确了关于加快经济社会发展全面绿色转型的总体要求，提出要构建绿色低碳高质量发展空间格局，加快产业结构绿色低碳转型，稳妥推进能源绿色低碳转型，发挥科技创新支撑作用等

✿ **稳妥推进能源绿色低碳转型：**

加强化石能源清洁高效利用。加大油气资源勘探开发和增储上产力度，加快油气勘探开发与新能源融合发展。**推进二氧化碳捕集利用与封存项目建设。**

✿ **发挥科技创新支撑作用：**

聚焦能源绿色低碳转型、低碳零碳工艺流程再造、新型电力系统、**二氧化碳捕集利用与封存**、资源节约集约与循环利用、新污染物治理等领域，统筹强化关键核心技术攻关。

2024 年 9 月 国家发展改革委 工业和信息化部 自然资源部等《国家发展改革委等部门关于加强煤炭清洁高效利用的意见》

——明确了加强煤炭清洁高效利用的总体要求，提出构建绿色协同的开发体系、构建安全环保的生产体系、构建清洁完善的储运体系、构建多元高效的使用体系等

✿ **推动煤电行业减污降碳：**

开展煤电低碳化改造和建设，鼓励煤电项目规划建设二氧化碳捕集装置。

✿ **有序发展煤炭原料化利用：**

推动煤化工与绿电、绿氢、储能、二氧化碳捕集利用与封存等耦合发展，打造低碳循环的煤炭高效转化产业链，促进煤化工产业高端化、多元化、低碳化发展。

区域规划：

在有关政策的大力支持下，我国各地方纷纷推动了 CCUS 发展，目前绝大多数地区已在政策中纳入了 CCUS 发展任务。CCUS 可支持相关地区：1）实现双碳目标；2）发展未来产业；3）推动科技创新、产业升级与高质量发展。

01.CCUS 支撑地方实现双碳目标

2023 年 1 月 江苏省工业和信息化厅 江苏省发展和改革委员会 江苏省生态环境厅《江苏省工业领域及重点行业碳达峰实施方案》

✦ 打造现代化产业链，培育低碳产业：

培育壮大新兴产业链。加快发展碳汇产业，加强以碳捕集利用及封存（CCUS）为核心的负碳技术研发，提前布局二氧化碳捕集、封存、回收、资源化利用装备研发与制造。

✦ 构建低碳创新体系，推动技术降碳：

开展绿色低碳技术改造示范。聚焦钢铁、石化化工、建材、煤电、纺织、造纸等行业，实施生产工艺深度脱碳、原燃料替代、工业流程再造、二氧化碳回收与循环利用、固碳产品开发等绿色低碳技术示范工程，组织实施典型行业应用特钢、关键工业基础件用特钢、绿色低碳制造工艺、水泥行业可再生燃料替代等示范工程，促进高碳行业大幅减排降污。开展绿色低碳示范项目，重点建设“光伏+”、微电网应用、氢储能及加氢站试点、便捷充换电池基础设施、近零排放、**二氧化碳捕集和高值化利用试点**等示范项目。

2023 年 6 月 山东省科学技术厅 山东省发展和改革委员会 山东省工业和信息化厅等《山东省科技支撑碳达峰工作方案》

✦ 实施基础前沿创新行动：

加快碳中和前沿技术突破。面向我省碳达峰碳中和重大战略需求，聚焦新型能源、新型电力系统、储能、**碳捕集利用与封存（CCUS）**等领域，围绕超高效光伏、新型核能发电、电力多元转换、人工光合作用、新型绿色氢能、直接空气捕集、生物能源与碳捕获和储存、太阳辐射管理等前沿技术开展深入攻关，加速与先进信息技术的深度融合，培育新的增长动能。

2023 年 6 月 山西省科学技术厅 山西省发展和改革委员会 山西省工业和信息化厅等 《山西省科技支撑碳达峰碳中和实施方案（2022-2030 年）》

🌟 **开展碳捕集、利用与封存及碳汇技术攻关示范行动：**

大力发展碳捕集、利用与封存技术，攻克二氧化碳捕集、压缩与运输、转化利用、地质利用与封存等关键技术，突破低能耗、大规模二氧化碳吸附捕集技术瓶颈，开展二氧化碳矿化利用、合成液体燃料及聚合物、重整制合成气、光热光电催化还原、生物固碳等转化利用技术攻关，前瞻布局空气直接捕集、碳捕集、利用与封存与新能源耦合等颠覆性技术研发。重点攻克基于多行业深度耦合的大规模、高效率、低能耗碳捕集、利用与封存技术，并开展万吨级以上碳捕集、利用与封存全流程技术示范，促进碳捕集、利用与封存产业集群化发展，实现二氧化碳大规模转化利用。

2023 年 7 月 福建省工业和信息化厅 福建省发展和改革委员会 福建省生态环境厅 《福建省工业领域碳达峰实施方案》

🌟 **钢铁行业碳达峰行动：**

加快推进行业智能制造及两化融合，鼓励钢化联产，探索开展氢冶金、**二氧化碳捕集利用一体化**等试点项目。

🌟 **石化化工行业碳达峰行动：**

开发推广合成气一步法制烯烃、乙醇等短流程合成技术，组织实施**大规模碳捕集利用封存产业化重点项目**。

🌟 **建材行业碳达峰行动：**

到 2030 年，原燃料替代水平大幅提高，玻璃熔窑窑外预热、窑炉氢能煅烧等低碳技术取得突破应用，在水泥、玻璃、陶瓷等行业改造建设一批减污降碳协同增效的绿色低碳生产线，**实现窑炉碳捕集利用封存技术产业化应用**，单位产品能耗进一步降低。

- 2024 年 1 月 天津市发展和改革委员会 《天津市碳达峰试点建设方案》
- 🌟 **试点（园区）碳达峰碳中和：**
- 试点区（园区）要结合试点目标，在发展方式绿色转型、能源基础设施建设、节能降碳改造、绿色先进技术示范、环境基础设施、资源循环利用、生态保护修复、**二氧化碳捕集利用与封存**等方面谋划实施一批重点工程和项目，以项目支撑试点区（园区）碳达峰碳中和工作，为经济社会发展提供绿色动能。要加强对重点项目建设的各类要素保障，项目推动过程中遇到的问题及时跟进解决。
- 2024 年 1 月 宁夏回族自治区发展改革委 《宁夏碳达峰试点建设方案》
- 🌟 **强化科技支撑：**
- 加强化石能源绿色智能开发和清洁低碳利用、可再生能源大规模利用、新型电力系统、节能、氢能、储能、动力电池、**二氧化碳捕集利用与封存**等重点领域的科学研究，加快科技成果转移转化。
- 2024 年 4 月 四川省经济和信息化厅 四川省生态环境厅 四川省发展和改革委员会 《四川省建材行业碳达峰实施方案》
- 🌟 **加快关键低碳技术攻关：**
- 加强建材窑炉碳捕集、利用与封存技术研发，加强与二氧化碳化学利用、地质利用和生物利用产业链的协同合作，建设一批标杆引领项目。
- 2024 年 11 月 陕西省工业和信息化厅 《关于开展第二批工业领域碳达峰试点示范项目申报工作的通知》
- 🌟 **工业领域绿色低碳技术试点示范项目：**
- 聚焦“减碳去碳”基础零部件、基础工艺、关键基础材料、低碳颠覆性技术研究，以技术基本成熟尚未产业化应用的先进适用技术为重点，遴选一批低碳零碳工业流程再造技术、高效储能、能源电子、氢能、**碳捕集利用封存（CCUS）**、温和条件二氧化碳资源化利用等关键核心技术。

🌟 重点行业低碳技术改造试点示范项目：

在钢铁、建材、石化化工、有色金属、装备制造、汽车、电子、轻工、纺织等重点行业或领域，围绕生产工艺深度脱碳，工业流程再造、电气化改造、**二氧化碳资源化利用**等方面，遴选一批低碳技术改造示范项目。

🌟 工业资源综合利用试点示范项目：

推进退役风电机组及叶片、光伏组件、动力电池等循环利用，支持冶炼废渣、脱硫石膏、结晶杂盐、金属镁渣、电石渣、气化渣、尾矿等大宗工业固废高值利用。遴选一批集规范回收、分选拆解、再制造及高值资源化于一体的示范项目，**二氧化碳捕集利用（CCUS）一体化试点示范项目**，低品位余热供暖项目、固废利用碳汇项目（CCER）。

02.CCUS 作为地方的未来产业

2023 年 9 月 北京市人民政府办公厅 《北京市促进未来产业创新发展实施方案》

🌟 未来能源：含 CCUS 领域

加快高性能吸收剂、吸附剂及膜材料等碳捕集关键材料开发，推动生物质能碳捕集与封存、直接空气碳捕集与封存等负碳技术研发，突破二氧化碳制备燃料和烯烃、光电催化转化、生物固定转化等二氧化碳转化利用技术，推动在京津冀区域火电、钢铁、化工、水泥等行业示范应用。

2023 年 11 月 江苏省人民政府 《省政府关于加快培育发展未来产业的指导意见》

🌟 重点方向：含零碳负碳（CCUS）领域

瞄准碳中和愿景下零碳负碳产业发展需求，开展碳捕集、运输、利用、封存、监测等环节关键核心技术攻关，强化系统集成耦合与优化，发挥碳捕集利用及封存技术在能源系统和工业领域的关键减排作用，加快实现低能耗百万吨级碳捕集利用及封存能力。探索二氧化碳低成本捕集，生物转化、液化驱油、矿物封存、有机化学品和燃料制造、高值无机化学品生产等碳利用技术，加快推动新一代低成本、低能耗碳捕集技术研发和商业化应用。

2024 年 4 月 广东省发展和改革委员会 广东省科学技术厅 广东省工业和信息化厅 《广东省培育发展未来绿色低碳产业集群行动计划》

🏆 构筑科技创新“新高地”：

重点开展**二氧化碳高值转化利用**、天然气水合物、先进核能等领域基础研究，**重点突破低成本二氧化碳捕集利用与封存 (CCUS)**、大容量漂浮式海上风电、高性能储能电池、高效光伏、低成本可再生能源制氢、生物质燃料等核心装备技术，**推进跨学科、跨领域交叉融合研究**。

🏆 碳捕集利用与封存先导工程：

——制定 CCUS 发展规划，聚焦关键核心技术研发，打造高水平创新平台，开展大规模示范项目建设，加快全产业链布局，推动产业集群发展。

——着力突破高效低成本碳捕集技术和装备，推动新型低浓度 CO₂ 捕集技术在电力、化工和水泥等行业的示范应用，探索直接空气 CO₂ 捕集 (DAC) 等前沿技术。

——建立车、船、管等多渠道综合 CO₂ 运输体系。

——拓展碳利用应用场景，加快 CO₂ 资源化利用技术研发，优化开发高附加值碳利用技术，探索 CO₂ 制淀粉等前沿技术，推动 CO₂ 的化工利用、生物利用、矿化利用以及提高油气采收率等技术的示范应用。

——支持油气、电力、化工等企业 with 科研机构，联合开展老油气田、咸水层和玄武岩等储集体的 CO₂ 地质封存以及 CO₂ 监测、风险评估等关键技术研发和应用。鼓励研发吸收剂、吸附剂、膜、催化剂等关键材料，CO₂ 捕集装置、运输管道、地质利用与封存设备等钢材防腐技术，以及大型压缩机、水—岩反应器、CO₂ 注入设备、CO₂ 监测系统等核心装备。

——围绕 CCUS 技术研发和项目建设需求，加快推进 CO₂ 捕集、输送、利用和封存等环节标准制修订。

——鼓励绿色石化、先进材料等产业集群部署大规模 CCUS 产业化项目。结合广东 CO₂ 源汇匹配特点, 依托惠州大亚湾石化基地、湛江东海岛石化产业园区、粤东粤西地区沿海高性能火电机组等沿海 CO₂ 排放源富集区, 加快大亚湾区 CCUS 集群项目、粤西 CCUS 集群项目落地, 研究布局 CO₂ 综合运输网络, 打造珠三角技术研发基地、粤西材料装备制造基地, 培育沿海经济带 CCUS 产业集群。

2024 年 4 月 贵州省工业和信息化厅《关于加快发展先进制造业集群的指导意见》

🌟 积极培育未来产业集群:

面向绿色低碳、智能、高效、多元化发展方向, 以技术突破为导向, 重点推动氢能制—储(运)产业环节的电解水制氢、生物质制氢、高压气态储氢、低温液态储氢技术, 电化学储能、氢储能等新型储能技术及**碳捕集利用与封存技术 (CCUS)** 的研发突破及产业化。

2024 年 7 月 安徽省工业和信息化厅 安徽省发展和改革委员会 安徽省财政厅《安徽省工业和信息化厅等七部门关于印发贯彻落实加快推动制造业绿色化发展指导意见的实施意见》

🌟 谋划布局绿色低碳领域未来产业:

谋划布局氢能、光储、生物制造、**碳捕集利用与封存 (CCUS)** 等未来能源和未来制造产业发展等。

03.CCUS 支撑地方科技创新、转型升级与高质量发展

2024 年 4 月 山东省人民政府《山东省人民政府关于印发“十大创新”“十强产业”“十大扩需求”行动计划(2024—2025 年)的通知》

🌟 实施关键核心技术“攻坚行动”:

强化传统产业转型升级技术供给。加快工业互联网、**碳捕集运输封存利用**等关键技术推广应用, 推动传统产业数字化、智能化、绿色化转型。

2024 年 4 月 湖北省住房和城乡建设厅 湖北省经济和信息化厅 湖北省发展和改革委员会 《湖北省绿色建材产业高质量发展实施方案》

🔥 **推进生产过程绿色化转型：**

强化绿色建材产业工艺升级、能源替代等综合性措施，实现污染物和碳排放双下降。推动水泥生产线节能降碳改造升级，广泛开展冷却机升级换代、预热器分离效率提升，推广应用辊压机生料终粉磨、替代燃料大比例利用、**碳捕集碳封存**等新技术新装备。

🔥 **提升科技创新能力：**

发挥中科院武汉分院、华中科技大学、武汉理工大学等科研优势，围绕**碳捕集利用与封存（CCUS）**、绿色建材行业废气超低排放、工业园区近零碳排放等前沿技术领域，建立绿色建材项目孵化器和创新创业基地。

2024 年 9 月 山西省能源局 《山西省推动能源领域设备更新工作方案》

🔥 **推动煤电设备改造升级：**

推动煤电行业节能降碳。因地制宜推进煤电企业开展**碳捕集、碳封存**技术攻关和试点示范。

2024 年 12 月 广东省人民政府办公厅 《广东省人民政府办公厅关于推动能源科技创新促进能源产业发展的实施意见》

🔥 **加快多领域融合和示范应用：**

在深远海海上风电、高效光伏、新型储能、绿色氢能、先进核能、低成本**二氧化碳捕集利用与封存（CCUS）**等重点领域，遴选一批具有较强创新基础、市场前景、先发优势和后续产业带动效应的示范工程，推动示范工程纳入省级能源发展规划和国家级示范工程，统筹推进示范工程落地实施。

零碳园区：

近年来，我国一些地方省份出台的零碳园区相关政策，明确将 CCUS 作为零碳园区发展的重要支撑手段。

2024 年 5 月 安徽省发展和改革委员会 安徽省能源局《安徽省发展改革委安徽省能源局关于印发安徽省零碳产业园区建设方案（试行）的通知》

✿ **突破零碳关键技术：**

鼓励试点园区内优势企业围绕**碳高效捕集利用与封存**、变革性零碳能源、环境与气候协同控制、固碳增汇等方向，联合高校院所、产业链上下游企业组建创新联合体、创新战略联盟，实施与绿色低碳密切相关的共性关键技术、前沿引领技术、颠覆性技术和基础材料、关键装备攻关，力争取得一批原创性、引领性的创新成果并加速产业化。

2025 年 3 月 四川省经济和信息化厅 四川省生态环境厅《四川省零碳工业园区试点建设工作方案》

✿ 围绕资源加工、绿色高载能、外向出口、优势产业主导等不同类型工业园区，以清洁能源规模利用、绿色低碳产业培育、绿色低碳技术支撑、智慧能碳系统建设为主要路径，以**碳捕集利用与封存**、生态固碳和碳汇开发为补充手段，支持有条件的地区率先建设零碳工业园区。

✿ 强化园区内上下游耦合发展，鼓励龙头企业联合行业企业开展协同降碳，构建首尾相连、互为供需、互联互通的产业链，实现产业循环链接。**加快推广应用低成本、高效率二氧化碳捕集利用与封存技术，建设二氧化碳规模化回收循环利用等示范工程。**

✿ 围绕**碳捕集利用与封存技术创新突破和成本降低**，以**低成本二氧化碳富集、中低浓度二氧化碳捕集利用、多元固废协同矿化二氧化碳等技术为重点**，开展碳捕集和利用与工业过程的全流程深度耦合技术研发，打造碳捕集和利用示范工程。**加大碳捕集利用与封存和清洁能源融合的工程技术研发，开展矿化封存、陆上地质封存等技术研究，加快推动规模化应用，力争实现捕集成本大幅下降。**

标准支撑：

2023 年 2 月，国家标准委、国家发展改革委、工业和信息化部等印发了《碳达峰碳中和标准体系建设指南》，将 CCUS 技术体系纳入其中。为进一步发挥标准的重要支撑作用，市场监督管理总局、国家发展改革委、生态环境部等正推动 CCUS 相关标准制定，促进关键技术标准与科技研发、示范推广协同推进。

2023 年 2 月 **国家标准委 国家发展改革委 工业和信息化部等《碳达峰碳中和标准体系建设指南》**

🌟 **碳捕集利用与封存标准：**

重点制修订碳捕集利用与封存（CCUS）相关术语、评估等基础标准，燃烧碳排放捕集标准，完善二氧化碳管道输送等标准。推动制定二氧化碳驱油（EOR）、化工利用、生物利用、燃料利用等碳利用标准，以及陆上封存、海上封存等碳封存标准。

🌟 **直接空气碳捕集和储存标准：**

重点制修订直接空气碳捕集和储存（DACs）应用条件、技术要求、实施效果评估等标准。

2023 年 3 月 **市场监管总局 国家发展改革委 工业和信息化部等《贯彻实施《国家标准化发展纲要》行动计划（2024—2025 年）》**

🌟 **完善绿色发展标准化保障：**

持续健全碳达峰碳中和标准体系。超前布局碳捕集利用与封存标准研究制定，促进关键技术标准与科技研发、示范推广协同推进。

2024 年 7 月 **国家发展改革委 市场监管总局 生态环境部《国家发展改革委 市场监管总局 生态环境部关于进一步强化碳达峰碳中和标准计量体系建设行动方案（2024—2025 年）的通知》**

🌟 **推动碳减排和碳清除技术标准攻关：**

加快氢冶金、原料替代、热泵、光伏利用等关键碳减排技术标准研制，在降碳技术领域采信一批先进的团体标准。制定生态碳汇、**碳捕集利用与封存等碳清除技术标准**，**尽快出台碳捕集利用与封存量化与核查、相关术语等通用标准**。抓紧构建二氧化碳捕集、运输、地质封存全链条标准体系。

量化核算：

考虑到 CCUS 突出的减排潜力，部分地区政策提出要加快完善碳排放统计核算体系，研究碳捕集利用与封存、碳汇在企业碳排放核算中进行抵扣的方法要求，有助于加快 CCUS 项目发展、降低碳排放总量、提升企业意愿等。

2024 年 7 月 **山东省生态环境厅《山东省“两高”建设项目碳排放减量替代办法》**

——适用于山东省行政区域内新建（含改扩建和技术改造，不包括不增加产能的环保节能改造、安全设施改造、产品质量提升等技术改造）“两高”项目

✿ **新建“两高”项目新增碳排放量须落实碳排放减量替代：**

碳排放替代源包括二氧化碳捕集、利用与封存（CCUS）等温室气体减排项目减少的碳排放量等。

2024 年 10 月 **国家发展改革委 生态环境部 国家统计局《完善碳排放统计核算体系工作方案》**

——明确完善碳排放统计核算体系的主要目标、重点任务和组织实施

✿ **健全企业碳排放核算方法：**

研究碳捕集利用与封存、碳汇在企业碳排放核算中进行抵扣的方法要求。

✿ **推进先进技术应用和新型方法学研究：**

加强碳捕集利用与封存核算方法学研究，明确碳捕集、运输、利用、封存的核算范围及方法。制定清洁低碳氢能认定方法和标准，开展碳减排效应核算。

2025 年 1 月 **四川省发展和改革委员会 四川省生态环境厅 四川省统计局《四川省完善碳排放统计核算体系工作方案》**

✿ **健全企业碳排放核算方法：**

按照国家要求，落实碳捕集利用与封存、碳汇在企业碳排放核算中进行抵扣的方法要求。

财税支持：

国家发展改革委、国家能源局出台了相关政策，明确超长期特别国债、节能降碳中央预算内资金等可用于支撑 CCUS 项目发展，在一定程度上降低企业开展 CCUS 项目示范的成本负担。

2024 年 3 月 国家发展改革委《节能降碳中央预算内投资专项管理办法》

🌟 碳达峰碳中和先进技术示范及应用项目：

支持“双碳”领域技术水平领先、减排效果突出、示范效应明显的项目建设，重点支持列入绿色低碳先进技术示范项目清单的项目。支持国家碳达峰试点城市和园区使用生物质能、地热能等可再生能源替代化石能源示范项目。**支持规模化碳捕集利用与封存项目建设。**工业重点领域绿色低碳技术攻关项目通过其他资金渠道支持。

🌟 支持范围和标准：

列入绿色低碳先进技术示范项目清单的参照技术攻关管理并按支持资金不超过项目总投资的 30% 控制，其他碳达峰碳中和先进技术示范及应用项目、重点行业 and 重点领域节能降碳项目支持资金按不超过项目总投资的 20% 控制，循环经济助力降碳项目支持资金按不超过项目总投资的 15% 控制，单个项目支持资金原则上不超过 1 亿元。

2024 年 6 月 国家发展改革委 国家能源局《煤电低碳化改造建设行动方案（2024—2027 年）》

🌟 加大资金支持力度：

发挥政府投资放大带动效应，**利用超长期特别国债等资金渠道对符合条件的煤电低碳化改造建设项目予以支持。**相关项目择优纳入绿色低碳先进技术示范工程。项目建设单位要统筹用好相关资金，加大投入力度，强化项目建设、运行、维护等资金保障。鼓励各地区因地制宜制定支持政策，加大对 煤电低碳化改造建设项目的投资补助力度

金融支持：

我国一系列投融资政策和工具，为金融市场注入了绿色新动能，包括：1）中国人民银行、发展改革委、证监会《绿色债券支持目录（2021 年版）》；2）生态环境部、国家发展改革委、工业和信息化部《气候投融资试点工作方案》；3）中国人民银行碳减排支持工具等。近年来，行业内已围绕上述政策和工具开展了探索实践，并形成了典型案例。

2024 年 3 月 国家金融监督管理总局《国家金融监督管理总局关于推动绿色保险高质量发展的指导意见》

——明确推动绿色保险高质量发展的总体要求，提出加强重点领域绿色保险保障、加强保险资金绿色投资支持、加强绿色保险经营管理能力支撑等任务

🌟 推进碳汇能力巩固提升：

在依法合规、风险可控前提下，探索开展碳交易、碳减排、碳汇等碳保险业务，并针对碳捕集与封存等前沿性固碳技术提供保险服务。

2024 年 4 月 国家发展改革委《国家发展改革委关于全面推动基础设施领域不动产投资信托基金（REITs）项目常态化发行的通知》

——附件《基础设施领域不动产投资信托基金（REITs）项目申报要求》明确在交通基础设施、能源基础设施、市政基础设施、生态环保基础设施等领域，全国各地区符合条件的项目均可申报。

🌟 能源基础设施领域：

包括风电、太阳能发电、水力发电、天然气发电、生物质发电、核电等清洁能源项目；储能设施项目；清洁低碳、灵活高效的燃煤发电（含热电联产煤电）项目；特高压输电项目，增量配电网、微电网、充电基础设施项目。其中，燃煤发电项目应具备以下一项或多项条件：纯凝工况最小发电出力在 30%额定负荷及以下；掺烧生物质、氢、氨等低碳燃料，掺烧热量比例不低于 10%；**配备大规模碳捕集利用与封存（CCUS）设备。**

2024 年 8 月 中国人民银行 国家发展改革委 工业和信息化部等《关于进一步
做好金融支持长江经济带绿色低碳高质量发展的指导意见》

🌟 **推动绿色金融与科技金融、数字金融协同发展：**

支持绿色低碳技术发展。鼓励金融机构为绿色低碳技术创新与推广提供综合性金融服务，支持长江经济带企业开展绿色低碳技术创新和节能降碳技术改造。在绿色新技术研发推广和产业化应用、绿色产业培育发展、碳减排技术和**碳捕集、利用与封存技术（CCUS）**等重点领域，加大金融产品供给力度。支持沿江省市结合区域绿色低碳技术发展优势，建立绿色项目库。探索建立服务绿色技术交易的相关平台，支持绿色技术加快转移转化。

2024 年 10 月 中国人民银行 生态环境部 金融监管总局等《中国人民银行等四
部门印发<关于发挥绿色金融作用 服务美丽中国建设的意见>》
——**提出要加大重点领域支持力度，提升绿色金融专业服务能力，丰富绿色金融产品和服务，强化实施保障**

🌟 **加大重点领域支持力度：**

支持绿色低碳发展。大力支持温室气体控排技术，新能源技术，**碳捕集、利用和封存技术**，温室气体与污染物协同减排相关技术，消耗臭氧层物质和氢氟碳化物的绿色低碳替代品和替代技术的研发、示范与推广等。

致 谢

本报告由中国环境科学学会 CCUS 专委会统筹编写。在调研和报告撰写过程中，我们荣幸获得众多来自产业界和研究机构的专家、学者的协助，受益于他们所提供的信息和专业的意见。我们非常感谢他们的大力支持，尤其感谢高林（北京怀柔实验室）、高成康（东北大学）、姜大霖（国家能源集团技术经济研究院）、徐冬（国家能源集团新能源技术研究院）、杨晓亮（澳大利亚全球碳捕集与封存研究院有限公司）等专家的协助。

中国环境科学学会 CCUS 专委会于 2019 年在生态环境部气候司的指导下成立，其整合了国内领先的学术资源，组织开展 CCUS 领域的关键技术突破、战略方案研究、商业模式探索、规范标准制定、提升公共意识等方面的工作，推动和引导 CCUS 技术的健康发展，为政府制定 CCUS 技术战略及政策、健全管理体系、完善相关法律提供科学依据，促进 CCUS 技术、政策领域的学术交流，提供与国内外同行机构交流的平台与窗口。

联系方式

地址：北京市海淀区文慧园北路 10 号

传真：010-62205905

电话：010-62205905

邮箱/Email: gdi@bnu.edu.cn

需了解更多内容，请访问 <https://ccus.bnu.edu.cn/>